Criptomoedas: Regulação e Oportunidades

Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio Rio de Janeiro, junho de 2018

Aluno: João Rômulo Pereira Lima

Professor Orientador: Márcio G. P. Garcia

Pontifícia Universidade Católica — PUC-RIO Departamento de Economia

Monografia de Conclusão de Curso ECO1812



Professor Orientador e Tutor: Márcio G. P. Garcia

Aluno: João Rômulo Pereira Lima

Matrícula: 1412012



Declaro que o presente trabalho é de minha autoria e que não recorri para realizá-lo a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo professor orientador.

Agradecimentos:

Primeiro, gostaria de agradecer ao corpo docente e aos funcionários do Departamento de Economia da PUC Rio, por todo o conhecimento e lições que me foram transmitidos ao longo da graduação.

Agradeço especialmente ao meu professor orientador, Márcio G. P. Garcia, pelo aconselhamento acadêmico, instrução e paciência, fundamentais para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus amigos, principalmente Andreas Hamers, Gabriel Bastos, Gabriel Dias, Henrique Meirelles e Pedro Henrique Ramos, por terem trilhado esse caminho ao meu lado.

E principalmente ao meus pais e meus familiares, por todo o amor, carinho e incentivo que me deram ao longo da minha vida.

Sumário

| . Introdução | .6 |
|---|----|
| . Regulação de Criptomoedas | .8 |
| . Oportunidades de Arbitragem utilizando Criptomoedas1 | 8 |
| . Análise Econométrica2 | 23 |
| . Exercício Empírico – Existe oportunidade de arbitragem na prática?3 | 32 |
| 5. Conclusão 3 | 7 |
| . Referências Bibliográficas 3 | 8 |
| 8. Apêndice 4 | 0 |

1. Introdução:

Em outubro de 2008, logo após que o banco Lehman Brothers declarou falência, Satoshi Nakamoto publicou um artigo dando origem a uma moeda digital, que permitiria que uma pessoa transferisse dinheiro para outra sem depender da intermediação de um agente centralizador, como um banco. Assim nasceu o Bitcoin. Sustentada pela tecnologia conhecida como Blockchain (também sugerida por Satoshi Nakamoto), essa moeda digital foi pensada para que não dependesse de um elemento que é fundamental para todas as outras moedas existentes até então: confiança garantida por um regulador. Isso permitiria reduzir custos e tempo necessário para realização de transferências de dinheiro. A grande ideia é que, em um mundo digitalizado, enviar dinheiro de um local para o outro deveria ser tão fácil quanto enviar um e-mail.

Nos primeiros anos o assunto ficou restrito principalmente a pesquisadores de Ciências da Computação, longe dos olhos da maior parte das pessoas. Com o passar dos anos, o Bitcoin começou aos poucos a ganhar fama, se tornando em 2017 um tema extremamente popular. Juntamente com a ascensão da fama, houve a elevação do preço e do volume negociado de Bitcoin, desenvolvimento de novas moedas digitais e consolidação de bolsas voltadas para a compra e venda dessas moedas. Em novembro de 2017, aproximadamente 1100 diferentes moedas digitais eram negociadas nas principais bolsas ("crypto-currencies exchanges"), com o valor de mercado das 100 moedas mais relevantes chegando ao montante de US\$165.1 bilhões (de acordo com o site www.coincap.io).

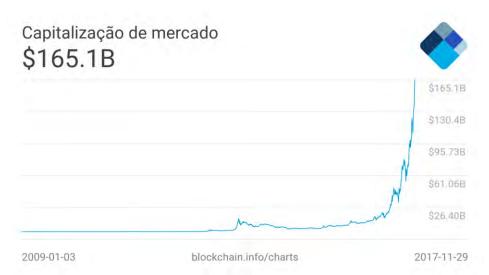


Grafico 1: Bitcoin Market Cap desde 2009 (novembro 2017)

Especialistas consideram hoje que o Blockchain, tecnologia por trás do Bitcoin e das outras moedas digitais, seja a tão relevante quanto foi a internet a alguns anos, com potencial de revolucionar inúmeras áreas de nossa sociedade, indo desde modelos de votação até o sistema financeiro. Start-ups, empresas Blue-Chips e os maiores bancos do mundo (como Goldman Sachs) não tem medidos esforços em pesquisa e investimento para que possam se beneficiar da nova tecnologia.

Devido a relevância que o mundo das moedas digitais alcançou, sua regulação tem se tornado uma pauta cada vez mais relevante nos países ao redor do mundo. O BIS (o Banco Central dos Bancos Centrais) recentemente atestou que "os bancos centrais globais devem pensar seriamente sobre sua abordagem para os crescentes mercados de moedas digitais", em seu relatório trimestral de setembro de 2017.

Nos recentes anos, devido ao aumento da utilização e procura por criptomoedas, cada vez mais ações têm sido tomadas na direção da regulação. Devido a extrema relevância desse assunto, dos importantes efeitos que pode ter sobre a economia global, nesse trabalho de monografia pretendo responder o seguinte questionamento: "A relação entre os Banco Centrais e as moedas digitais: de onde viemos e para onde iremos?". Para responder essa pergunta, será feita no primeiro capítulo uma revisão de bibliografia, desenvolvendo uma resenha sobre a relação entre os Bancos Centrais e as moedas digitais e, assim, sobre a regulação delas.

Mesmo que o hoje o mercado de Criptomoedas já esteja muito mais desenvolvido do que no passado recente, ele ainda é incipiente e nem sempre funcionam eficientemente. Dessa forma, assimetrias entre o preço de uma mesma criptomoeda em diferentes corretoras são comuns, até mesmo entre corretoras de mesmo país. Essas assimetrias podem estar criando oportunidades de arbitragem nos mercados de criptomoedas. Na segunda parte desse trabalho esse tema será explorado com o objetivo de verificar se é possível encontrar e avaliar uma operação financeira utilizando criptomoedas que possibilite retornos positivos com baixa exposição a risco.

2. Regulação de Criptomoedas:

Nesse capítulo será apresentada uma revisão de bibliografia. Para tal, realizei um profundo estudo sobre o que já foi publicado por Bancos Centrais, governos e instituições econômicas relacionado a regulação de moedas digitais e assuntos relacionados (ICOs e Exchanges). Com base nesse estudo, será feita uma resenha com o objetivo de responder a seguinte pergunta: "A relação entre os Banco Centrais e as moedas digitais: de onde viemos e para onde iremos?".

Primeiramente, vou me concentrar em responder a primeira parte da pergunta, ou seja, "de onde viemos". A fase inicial da história das moedas digitais, e consequentemente do Bitcoin (primeira moeda virtual), foi marcada por sido bastante distante dos holofotes. Durante os seus primeiros anos, a criptomoeda era mais conhecida por pessoas ligadas ao universo tecnológico e ao anarcocapitalismo. A popularidade dessa nova tecnologia ganhou um primeiro impulso quando a *Exchange* (termo mais utilizado para se referir às corretoras de criptomoedas) MtGox foi criada em 2010, facilitando o contato e a negociação entre compradores e vendedores de Bitcoin, aumentando a liquidez da moeda.

O ano de 2011 foi marcado pela criação do Silk Road, uma plataforma ilegal que possibilitava compra e venda de drogas ilícitas na "deepweb". Esse evento foi fundamental para a história das criptomoedas, para o aumento do volume de usuários e pela criação de sua má fama, pois o principal método de pagamento da plataforma era o Bitcoin. O anonimato proporcionado por esse meio de pagamento o tornou ideal para transações ilegais e sonegação fiscal, como no caso do Silk Road. A plataforma ficou online durante dois anos e estimasse que mais de US\$1.3 bilhões em Bitcoins tenham sido movimentados por meio dela. Até esse momento, aos olhos dos governos e reguladores, o Bitcoin era visto como apenas mais uma tentativa de moeda digital, assim como foi o "e-gold", o "Hashcash" e o "b-money", que não alcançaram um volume de transação suficientemente grande para chamar atenção dos reguladores. O caso do Silk Road, porém, fez com que os governos, órgãos de regulação e segurança e a população começassem a debater sobre a legalidade da moeda, que não contava com nenhuma entidade reguladora. No dia 18 de outubro de 2013, houve uma audiência no Senado Americano, intitulada "Beyond Silk Road: potential risks, threats and promises of virtual currencies", onde as moedas digitais (em especial o Bitcoin) foram o protagonista, deixando para trás os anos na obscuridade. O custo da popularidade, porém, foi bem elevado. O Bitcoin (e as criptomoedas) ficou conhecido como moeda financiadora do tráfico, do

terrorismo e da sonegação fiscal, tendo sua imagem atrelada à ideia de ilegalidade. Isso deu origem a uma resistência à utilização de moedas virtuais como meio de pagamento, que é o principal objetivo da moeda. Ainda assim, novos usuários, formados por entusiastas, programadores e investidores pouco avessos a risco, continuaram a aumentar a rede das Criptomoedas.

Em fevereiro de 2014, a corretora japonesa "Mt Gox", responsável na época por 70% das operações de Bitcoins no mundo, sofreu uma série de ataques de "hackers", perdendo cerca de 740 mil Bitcoin (6% da quantidade total de Bitcoins existentes na época), e, em seguida, declarou falência. A partir desse momento, bancos centrais ao redor do mundo começaram a se posicionar, pela primeira vez, em relação às moedas virtuais. O Banco Central da Vietnam, por exemplo, proibiu em fevereiro de 2014 que instituições de credito utilizassem moedas digitais. No mesmo ano, os Bancos Centrais da Bolívia, Equador e Bangladesh tornaram ilegal a utilização ou porte de criptomoedas. Esses países, porém, não continham um grande mercado consumidor de moedas digitais, e suas barreiras à tecnologia não representaram um problema para que a rede das moedas digitais continuasse a se desenvolver.

Como podemos ver no gráfico abaixo, o crescimento da capitalização do mercado de moedas digitais se desenvolveu de maneira mais relevante nos anos de 2016 e 2017, ultrapassando a marca de 800 bilhões de dólares, refletindo o desenvolvimento do "ecossistema" das criptomoedas, devido à diversos fatores: exploração da tecnologia do Blockchain (responsável pelo funcionamento do Bitcoin), desenvolvimento de startups focadas a atender o novo mercado, criação de novas moedas digitais, maior adoção e investimento em moedas digitais ao redor do mundo, entre outros. Em paralelo com o aumento exponencial do "Market Cap" das criptomoedas e do desenvolvimento do "ecossistema", o interesse dos Bancos Centrais, órgãos reguladores e governos aumentou muito, principalmente em 2017.

| Zoom | 1d | 7d | 1m | 3m | 1a | AA | TUDO | | domingo, 07 de janeiro de 2018, 15:47:00 UTC-03:00 | Cap. de Mercado: 813,871,000,000 USD | Vol 24h: 44,060,500,000 USD | Vol 24h: 44,060,500,000 USD | S2508i |

Gráfico 2: Cryptocurrencies Marketcap

Fonte: https://coinmarketcap.com/pt-br/charts/

Como o universo das criptomoedas é bastante amplo, os movimentos feitos por reguladores tem sido em diversos "fronts", no sentido de que alguns estão estudando a possibilidade de criação da própria criptomoeda, como é o caso do Banco Central da Inglaterra, do Fed de NY (comandado por William Dudley) e do Banco Central Alemão, enquanto outros reguladores tem trabalhado para regular, ou mesmo proibir, as ofertas iniciais de criptomoedas (ICO), como é o caso do ASIC (Australian Securities & Investments Comission), do Banco Central da Coreia do Sul e do Banco Central da China (PBOC).

O posicionamento da regulação também varia de países para países e de regulador para regulador. Na Austrália, por exemplo, os reguladores possuem um posicionamento otimista em relação às criptomoedas, às corretoras e aos ICOs, entendendo que o avanço tecnológico pode trazer uma série de ganhos para a sociedade, ainda mais se houver uma regulação protegendo o usuário de possíveis problemas.

Os Bancos Centrais e os órgãos reguladores que agem a favor das criptomoedas, defendem, por exemplo, que as criptomoedas são instrumentos financeiros que podem ajudar na redução dos custos de transação internacional. Outro ponto defendido é que a tecnologia do Blockchain pode ser utilizada pelos próprios Bancos Centrais para otimizar as suas funções nos sistemas monetários nacionais. A ASIC, particularmente, defende a existência de ICOs, pois entende que eles podem ajudar pequenas empresas que não possuem acesso a crédito a se financiarem de forma alternativa.

Por outro lado, existem argumentos contrários às criptomoedas que são repetidamente defendidos pelos reguladores que buscam limitar a utilização de criptomoedas. Os argumentos contrários mais comuns (comuns a diversos relatórios) são:

- As criptomoedas não são emitidas nem garantidas por nenhuma autoridade monetária;
- Pouca transparência, criando oportunidades para realização de atividades ilícitas;
- Não há garantia de conversão em moedas soberanas;
- Não são lastreadas em ativos reais;
- O risco fica concentrado nas mãos do detentor;
- Existe muita volatilidade no preço;
- É um ativo especulativo.

A seguir, vou fazer um resumo sobre a situação regulatória no Brasil e nos países onde os mercados de moedas digitais são mais desenvolvidos.

Brasil:

Atualmente, no Brasil as criptomoedas, ICO's e corretoras (Exchanges) ainda não foram regularizadas e são legais. O assunto vem sendo discutido constantemente pela autoridade monetária (Banco Central do Brasil), que tem se posicionado de forma contrária às criptomoedas, dando sinais de que "a festa tem prazo para acabar". O presidente do Banco Central Ilan Goldfajn demostrou repúdio diversas vezes pelas criptomoedas, alertando para os riscos de bolha.

O Projeto de Lei 2303/15, do deputado federal Áureo Lídio (SD-RJ), que tinha como objetivo regulamentar os programas de milhagem e principalmente as moedas digitais foi colocado em pauta no Congresso em 2017.

A CVM (Comissão de Valores Mobiliários) publicou uma nota em outubro de 2017 onde atestou que "ICOs podem se caracterizar como operações com valores mobiliários já sujeitas à legislação e à regulamentação específicas, devendo se conformar às regras aplicáveis. As empresas que captarem recursos por meio de ICOs, emitindo e negociando ativo virtuais que se enquadrem na definição de valor mobiliário, estarão sujeitas a regulação já existente no Brasil. Por outro lado, os ICOs que não se configurarem como ofertas públicas de valores mobiliários não estarão sobre a competência da CVM."

Estados Unidos:

Nos Estados Unidos, alguns estados como o Arizona (reconhecimento dos "smart contracts"), Vermont (Blockchain como evidência) e Delaware. estão no caminho de regulamentar o uso das moedas criptografadas a tecnologia do Blockchain.

Em novembro de 2017, o inspetor do departamento do Tesouro Americano, Steven Mnuchin, falou que iria revisitar as práticas do FinCen (The Financial Crimes Enforcement Network) em relação às moedas digitais, dado o seu risco envolvendo lavagem de dinheiro e financiamento de terrorismo. Segundo a diretriz do FinCen, criptomoedas não são um meio de pagamento reconhecido em nenhuma jurisdição.

Nos Estados Unidos, a SEC (Securities and Exchange Commission), equivalente à CVM no Brasil, vetou projetos de produtos financeiros ligados à criptomoedas, como por exemplo ETFs de Bitcoin. Além disso, a instituição nunca reconheceu (registrou) nenhum ICO, mesmo indicando que analisa de perto a atividade. Em julho de 2017, por exemplo, a SEC emitiu um comunicado alertando os investidores sobre os riscos dos ICO's. Adicionalmente, deu início a três ações sobre emissões de moedas (ICO's).

A CFTC (U.S. Commodity Futures Trading Commision), por outro lado, classificou o Bitcoin como uma commodity e anunciou que qualquer prática fraudulenta ou de manipulação envolvendo a negociação da moeda sob sua jurisdição estará sujeita à sua autoridade. Além disso, com essa decisão, a CFTC permitiu que a CME (Bolsa de Chicago) e CBOE (Chicago Board Options Exchange) desenvolvessem futuros de Bitcoin. Essa ação foi vista como um grande avanço no desenvolvimento das criptomoedas.

China:

Em setembro de 2017, o governo chinês proibiu as instituições financeiras e provedores de soluções de pagamento de usarem ou aceitarem moedas digitais. O PBoC (Banco Popular da China) passou inicialmente a exigir que as corretoras fossem registradas com as autoridades competentes, e ainda meses depois, proibiu o funcionamento de todas as corretoras de criptomoedas no país. Esse banimento das corretoras de criptomoedas ficou conhecido como "China Ban". O mercado Chinês era o maior mercado de criptomoedas no mundo (em termos de volume) e 80% do poder de mineração era concentrado no país. Essa ação teve um forte

impacto negativo sobre os mercados de criptomoedas. No gráfico 3 abaixo é possível verificar o momento em que ocorreu tal evento (o preço do Bitcoin nas corretoras ficou parado, já que elas estavam proibidas de operar).

USD EUR GBP CAD CNY 11k 10k 9k 8k 7k 6k 5k 4k 3k 2k 1k 2017 July October April 2014 2015 2016 2017

Gráfico 3: China Ban

Source: https://bitcoinaverage.com/en/currency-markets/btc-to-usd

Além disso, o PBoC tornou os ICO's em uma prática ilegal. Em março de 2018, o governo chinês divulgou um relatório indicando que iria proibir qualquer uso de criptomoedas na China, banindo completamente o ativo.

Coreia do Sul:

Houve dois momentos importantes para as moedas digitais na Coréia do Sul no ano de 2017. O primeiro evento ocorreu em agosto, quando os reguladores começaram a tomar medidas mais incisivas para aumentar a regulação sobre as moedas digitais. Foi proposta uma modificação na lei existente (Eletronic Financial Transaction Act), que passaria a regular negócios envolvendo moedas digitais dentre as seguintes categorias: "Traders", corretoras, emissores e gestores.

O segundo evento ocorreu em dezembro de 2017, com a comissão de serviços financeiros da Coreia do Sul banindo a negociação de futuros de Bitcoin. Além dos futuros, os ICO's também foram alvo da nova regulação, ficando assim banidos. Por outro lado, foi indicado pela autoridade que as *exchanges* não sofreriam tais restrições.

Japão:

O Japão aprovou em maio de 2016 a lei que passaria a regular as moedas digitais, que se tornou efetiva apenas um ano após sua aprovação. Em abril de 2017, a Agência de Serviços Financeiros (FSA) aprovou uma lei regulando as moedas digitais como meio de pagamento, essencialmente colocando-as no mesmo patamar legal das moedas tradicionais. Essa política aprovada pela FSA foi fundamental para o desenvolvimento das moedas digitais e seu ecossistema no Japão, que hoje é o país onde há maior volume de transação de Bitcoin.

Em setembro de 2017, a FSA concedeu suas primeiras licenças para corretoras de moedas digitais, ao todo 11 corretoras. Para obter as licenças, as corretoras tiveram que seguir requisitos severos, incluindo segregação de contas e fortalecimento do seu sistema computacional.

Demais países:

A firma internacional de advocacia Perkins Coie, desenvolveu em seu site uma página (que é atualizada frequentemente) que contém as ações e regulações de moedas digitais em 80 países, em forma de linha do tempo para cada um deles. O endereço da página é: https://www.perkinscoie.com/en/news-insights/digital-currencies-international-actions-and-regulations.html. Essa é provavelmente a melhor base de dados disponível hoje sobre regulação de moedas digitais, onde é possível encontrar de forma rápida e objetiva o desenvolvimento da regulação de criptomoedas nesses países.

Um tema que se tornou comum entre os estudos dos Bancos Centrais é o desenvolvimento de Central Bank Digital Currencies (CBDC), ou seja, moedas digitais emitidas por bancos centrais. O BIS (Bank of International Settlements), considerado o Banco Central dos Bancos Centrais, dedicou um capítulo de seu relatório trimestral de setembro de 2017 para abordar o assunto. Nesse artigo, o BIS estuda dois tipos de CBDCs: o CBDC de varejo e ou CBDC de atacado. O CDBC de varejo seria uma moeda digital destinada a pessoas físicas, para ser utilizada no dia-a-dia, para que transações corriqueiras possam ser realizadas de forma par-a-par (peer-to-peer, P2P), oferecendo anonimato similar ao que é oferecido pelo papel moeda. Já o CBDC de atacado poderia tornar mais eficiente, barata e rápida as transferências entre os bancos, aumentando a eficiência do setor financeiro.

O Banco Central Inglês, tornou público em 2017 que estava testando os impactos da introdução de uma criptomoeda própria na economia, para verificar quais beneficios poderia existir em se emitir um CDBC. O Banco Central fez questão de lembrar que não esqueceria da sua função de manter a estabilidade financeira no país, já que os bancos poderiam ser negativamente impactados caso fosse emitido uma moeda digital do banco central. Desde então, porém, não foi houveram novas divulgações a respeito. O FED de Nova York, o Bundesbank da Alemanha e o Banco Central Europeu também estão engajados em estudos nesse sentido.

O preço das criptomoedas respondem de forma positiva a movimentos regulatórios que podem tornar o ambiente de investimento mais seguro e menos hostil. Quando foi feito o anuncio de que seriam emitidos futuros de Bitcoin pela CBOE e CME nos Estados Unidos, por exemplo, o preço do Bitcoin aumentou aproximadamente 15%, acompanhado pela alta do preço das demais altcoins. Por outro lado, quando a regulação se apresenta como sendo restritiva e degrada o ambiente de investimento, os preços caem de forma vertiginosa. Foi o que aconteceu, por exemplo, quando os reguladores sul-coreanos divulgaram que iriam realizar sanções para a negociação de criptomoedas.

Como pode ser observado no gráfico 2, o valor de mercado das criptomoedas caiu de forma brusca em 2018. Essa desvalorização foi acompanhada pela redução do volume de transações e do interesse das pessoas por criptomoedas. Aos poucos, o tema foi se tornando cada vez menos frequente nas mídias sociais. Como resultado, os bancos centrais e os agentes reguladores têm dado menor urgência à regulação das criptomoedas. A velocidade do desenvolvimento da regulação do ecossistema das moedas digitais caiu de forma considerável.

Assim, a segunda parte da pergunta que esse capítulo se propõe a responder (**para onde iremos**), vai depender do comportamento dos mercados de criptomoedas no futuro e da variação do número de usuários das moedas digitais. Acredito que, hoje, os Bancos Centrais estejam menos interessado na regulação das criptomoedas, porém mais interessados no desenvolvimento de formas inovadoras de utilizar a tecnologia inerente à elas, o Blockchain.

now the largest cryptocurrency, with the total number of bitcoins currently valued at approximately \$70 bitlion. Research produced by Cambridge University concluded this year that there are between

of the spectrum, Bangladesh passed a law in 2014 stating that anybody caught using the virtual currency could be jailed under the country's strict anti-The most notable disrupter is Japan, which has passed a law accepting bitcoin as legal tender. At the other end

Whatever the individual case for a country, the growth in cryptocurrencies in the last decade has shown that there is strong momentum around this new technology.

O GLOBAL ADVOCATES

Pioneer nations whose governments have taken steps to promote cryptocurrencies and drive parity for

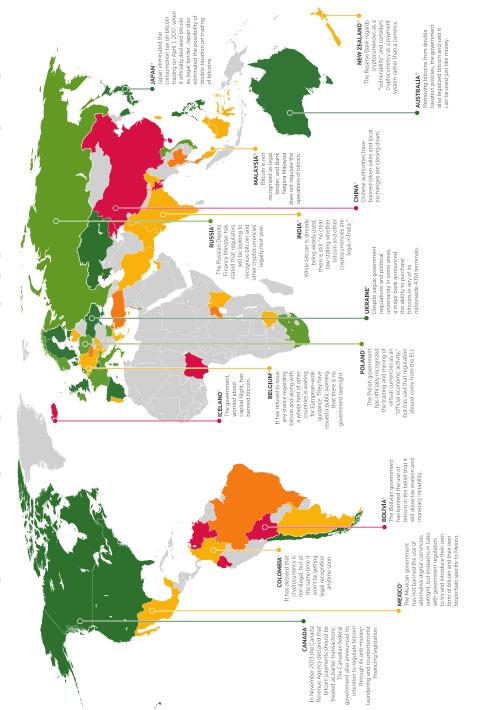
FENCE-SITTERS Covernments that have

Covernments that have not called individual trading into question or that have stopped short of giving any legal or regulatory protection to users of cryptocurrencies.

HOSTILE

Governments that have taken steps to curtail virtual currencies, but stopped short of banning individuals

A WORLD OF CRYPTOCURRENCIES



- Read about all of the countries at thomsonreuters.com/know360app

0

3. <u>Oportunidades de Arbitragem utilizando</u> <u>Criptomoedas:</u>

O mercado de criptomoedas é, como dito anteriormente, um mercado global e incipiente e em desenvolvimento. O Bitcoin foi criado com a intenção de ser uma moeda digital que fosse transacionada de forma descentralizada, utilizando o formato de rede "Peer-to-peer" (P2P – ou, em português, par-a-par), sem a necessidade de um intermediador. Para que seja fácil realizar uma transação, porém, é preciso que a rede de usuários seja ampla, para que se encontre rapidamente alguém que deseje participar da transação (na ponta contrária). Assim, como a rede do Bitcoin demorou para se desenvolver, comprar e vender criptomoedas era uma tarefa difícil. Com o passar do tempo, surgiram as "exchanges" (corretoras), mercados organizados criados por prestadores de serviços para facilitar a negociação de criptomoedas. O usuário cria uma ordem de compra ou venda de alguma criptomoéda (como Bitcoin), que será publicada no livro de ofertas dessa corretora, ficando visível para os demais clientes da corretora. Para publicar uma ordem de compra é preciso possuir "crédito" na conta do usuário na corretora, ou seja, é preciso transferir dinheiro utilizando um banco para isso.

Inicialmente existiam poucas corretoras e em poucos países, como a "Mt Gox", Bitstamp e a Btc-e. A criação de exchanges de criptomoedas ao redor do mundo foi um fator fundamental para o desenvolvimento da rede de usuários de criptomoedas. Hoje (abril 2018) existem mais de 500 corretoras espalhadas pelo mundo, de tal forma que muitos países possuem mercados de troca próprios, tornando possível a conversão criptomoedas em moedas soberanas de diversos países (ainda assim, em geral, se olha para o preço de moedas digitais em relação ao dólar). É comum que existam mais de uma (as vezes dezenas) exchanges em um mesmo país. Estados Unidos e Japão são exemplos de países onde existem mais de 20 corretoras de moedas digitais, onde se pode negociar diversas criptomoedas (não só Bitcoin). No Brasil, existe uma serie de corretoras (Mercado Bitcoin, Foxbit, FlowBTC, entre outras) onde é possível se negociar, por exemplo, Bitcoin (BTC) por Real (BRL).

Por ainda serem incipientes, os mercados de criptomoedas nem sempre funcionam eficientemente, de forma que sejam comuns assimetrias entre o preço de uma mesma criptomoeda em diferentes corretoras, até mesmo entre corretoras de mesmo país. Muitas vezes a diferença de preço é maior do que os custos de transação entre as corretoras, de tal modo que seja possível ter ganho financeiro comprando uma mesma criptomoeda em uma corretora e

vendendo imediatamente depois em outra. Operações como essa ficaram conhecidas como "arbitragens com criptomoedas", mesmo havendo um risco direcional devido ao tempo de transação entre uma corretora e outra (tempo necessário para a transferência depende da velocidade da rede da criptomoeda envolvida na operação). Estudos têm sido feitos com o objetivo de se aproveitar ao máximo possíveis oportunidades de lucro com pequena exposição a riscos utilizando moedas digitais. A maior parte da pesquisa nesse campo tem sido feita com base no mercado americano de criptomoedas, com operações de arbitragem entre corretoras nos Estados Unidos, sendo divulgada em blogs pessoais, no Reddit.com (rede social que cria uma comunidade de fóruns sobre uma ampla variedade de assuntos, incluindo criptomoedas e blockchain) ou em sites. Jimi Smoot, um engenheiro de software americano, publicou em seu blog (jsfour.com em maio de 2017 um artigo, onde avalia se é possível obter ganhos financeiros com a operação de arbitragem entre BTC/USD e BTC/USDT (Theter Dolar – uma criptomoeda que funciona como uma versão sintética de Dolár). Levando em consideração os riscos da operação (como, por exemplo, o risco de obter fundos em USDT), Jimi conclui que não vale a pena realizar a operação, mesmo havendo uma oportunidade de ganho financeiro.

Também são divulgadas ferramentas gratuitas ou pagas que ajudam a identificar oportunidades de arbitragem para que se realize a operação de forma manual ou automática. Um exemplo de ferramenta são os "bots", ou seja, algoritmos ou softwares pré-programados que analisam preços, volumes e ordens, funcionando como "robôs de trading" (podendo operar continuamente, aproveitando oportunidades do mercado de criptomoedas, que funciona 24 horas por dia, todos os dias). Existem bots gratuitos, como o "Blackbird" (disponível em: https://github.com/butor/blackbird), bots como "Haasbot" pagos, (https://www.haasonline.com/) ou o "BTC Robot" (http://www.btcrobot.com/), que realizam as operações automaticamente para o usuário, podendo obter, ou não, lucro. Esses bots, porém, são específicos para corretoras não-brasileiras. Uma função importante desses algoritmos é que eles ajudam a dar liquidez nos mercados de criptomoedas. Existem também hedge funds nos Estados Unidos que se propõem a obter retorno apenas com arbitragem de criptomoedas, sem tomar uma "posição direcional" em alguma criptomoeda específica, como é o caso dos fundos da "Amber AI" e "BitSpread". Com o desenvolvimento de novas ferramentas e entrada de mais "players", as oportunidades de arbitragem em mercados mais desenvolvidos têm se tornado cada vez mais escassas.

No mercado brasileiro de criptomoedas também existem oportunidades de arbitragem, provenientes da diferença de preços entre corretoras nacionais. A plataforma gratuita disponibilizada pelo cointrademonitor.com ajuda a identificar cotações de Bitcoin

suficientemente diferentes entre as corretoras brasileiras para que se possa obter lucros, levando em consideração os custos de transação. Na figura 6 abaixo é possível verificar que existem oportunidade de ganho de mais de 5% com uma operação de baixo risco. Existem ainda outras plataformas online que ajudam na identificação de oportunidades de arbitragem no mercado brasileiro, como a Quantum, do Atlas Project, que se diz ser "plataforma de investimento automatizado em Bitcoin", propondo alcançar ganhos com o dinheiro do cliente apenas por meio de arbitragens, cobrando uma taxa por isso.

Figura 6: Coin Trade Monitor

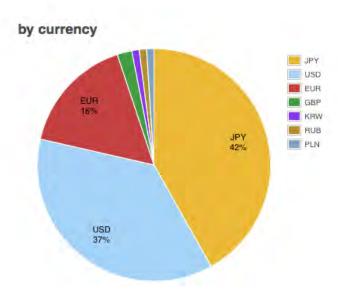
| | Exchange | Comprar Venda | Comprar Último | Compra | Último | Venda | Vender Último | Vender Compra | Spread | Spread % | Volume | Hora (UTC |
|----------------------|--|---|--|---|--|---|---|--|--|---|--|-----------|
| 4 | BitcoinTdYou | 27.990,76 | 27,888,36 | 27.200,00 | 27.200,00 | 27.299,90 | 26,528,24 | 26,528,24 | 99,90 | 0,37% | 201,65 | 14:24:46 |
| • | Braziliex | 28.148,00 | 28.148,00 | 27.152,50 | 28.000,00 | 28.000,00 | 27.782,22 | 26.941,04 | 847,50 | 3,12% | 18,34 | 14:24:46 |
| • | Foxbit | 28.700,75 | 28,659,75 | 28,509,20 | 28.509,20 | 28,550,00 | 27,968,96 | 27.968,96 | 40,80 | 0,14% | 2.056,43 | 14:24:46 |
| 4 | FlowBTC | 28.750,75 | 28,750,75 | 27.500,00 | 28.500,00 | 28.500,00 | 28.058,61 | 27.073,81 | 1.000,00 | 3,64% | 31,61 | 14:24:46 |
| 0 | TemBTC | 28,976,11 | 28,976,11 | 23,260,00 | 28.769,60 | 28.769,60 | 28.335,78 | 22,907,37 | 5.509,60 | 23,69% | 0,14 | 14:11:44 |
| • | BitcoinTrade | 29.153,00 | 28,801,25 | 28.652,10 | 28.650,00 | 29.000,00 | 28.223,11 | 28,225,17 | 347,90 | 1,21% | 275,28 | 14:24:46 |
| 2 | MercadoBitcoin | 29.178,82 | 29.178,82 | 28.000,00 | 28.400,00 | 28.400,00 | 27,649,40 | 27.259,93 | 400,00 | 1,43% | 1.095,56 | 14:24:47 |
| • | NegocieCoins | 30.227,80 | 30,228,30 | 30.010,10 | 30.099,90 | 30.099,40 | 29.703,67 | 29.615,02 | 89,30 | 0,30% | 1.628,89 | 14:11:44 |
| 0. | ortunidades (| de arbitragem | i e | | | | | | | | | |
| Co Co Co Co | mpre 1 BTC na e mpre 1 BTC na e | exchange Brazil exchange Foxbit exchange flowB exchange Bitcoi exchange Merca | nToYou por R\$ 2 liex por R\$ 28.14 it por R\$ 28.700,7 TC por R\$ 28.750 nTrade por R\$ 2 idoBitcoin por R\$ 2 nToYou por R\$ 2 | 3,00 e vend 5 e venda r 0,75 e venda 3,153,00 e v 5,29,178,82 | a na exchar la exchange a na exchar renda na ex e venda na | nge Negoci e NegocieC nge Negoci change Negoci exchange | eCoins por R\$ 2 coins por R\$ 29. eCoins por R\$ 2 gocieCoins por NegocieCoins | 29.615,02 para l 615,02 para luc 29.615,02 para l R\$ 29.615,02 p por R\$ 29.615,0 | ucrar R\$ 1 rar R\$ 875 ucrar R\$ 8 ara lucrar l 2 para luci | .429,02 (+ ,52 (+3,05 25,46 (+2,6 R\$ 422,66 rar R\$ 396, | 5,08%). %). 37%). (+1,45%). ,81 (+1,36% | |

Fonte: cointrademonitor.com.br

Um tipo de operação utilizando Bitcoin, porém, parece ter sido pouco explorado. Essa operação se baseia em aproveitar possíveis diferenças entre a cotação do Bitcoin no mercado brasileiro (exchanges brasileiras) e no mercado americano (exchanges nos Estados Unidos). Se os mercados de criptomoedas fossem eficientes, a cotação de 1 BTC em BRL deveria corresponder a cotação do BTC em Dólar (USD) vezes o câmbio BRL/USD (mais os custos de transação). Além disso, a resposta da cotação no mercado nacional (menor volume) deveria responder a variações dos mercados internacionais (maior volume) (podemos ver na figura XX abaixo que o volume transacionado de Bitcoin em Real é tão pouco expressivo que não aprece no gráfico). Caso o mercado nacional demore a responder (ou mesmo não responda) a variações

na cotação do BTC nos mercados internacionais, surge, possivelmente, a oportunidade de arbitrar nesse mercado.

Figura 7: Volume de transação por moeda



Fonte: Bitcoincharts.com

Em julho de 2017, o até então aluno de economia da PUC-Rio Felipe Prado escreveu uma monografia com o tema "Bitcoin: análise da criptomoéda no mercado brasileiro". Além de abordar assuntos como a origem do Bitcoin e o posicionamento da criptomoéda no mercado Brasileiro, um trecho do trabalho tinha como objetivo analisar justamente o caso explicitado acima, ou seja, se existem oportunidades de arbitragem na diferença entre a cotação do Bitcoin no mercado brasileiro e a cotação do mercado americano. O estudo foi dividido em 2 partes: inicialmente foi realizado um estudo econométrico onde se testava a velocidade (ou existência) de resposta do preço do Bitcoin no Brasil a uma variação no preço do Bitcoin nos EUA. Em seguida, foi feito um estudo empírico para testar se, na prática, existe ou não oportunidade de arbitragem. A operação utilizando Bitcoin que foi analisada era a seguinte: Compra de Bitcoin nos EUA, utilizando a corretora Kraken e venda no Brasil por meio da corretora Foxbit, levando em consideração as taxas cobradas por essas corretoras.

Os resultados apresentados por Felipe em sua monografia foram interessantes. Seu exercício econométrico, que consistiu em um teste de resposta ao impulso da cotação do Bitcoin no mercado brasileiro ao choque de um desvio padrão na cotação da criptomoeda no mercado americano, com base em dados de frequência diária das corretoras Foxbit (Brasil) e Kraken (Estado Unidos), indicou que existe uma defasagem na resposta dada pelo mercado brasileiro, levando-o a crer que o mercado brasileiro de criptomoedas não reflete de forma

eficiente à toda informação disponível. Assim, o exercício econométrico indica que podem existir oportunidades de arbitragem nesse mercado. Já o exercício empírico indicou que em 28% dos dias uteis dentro do período de amostra (janeiro 2015- maio 2017) existiram oportunidades de arbitragem.

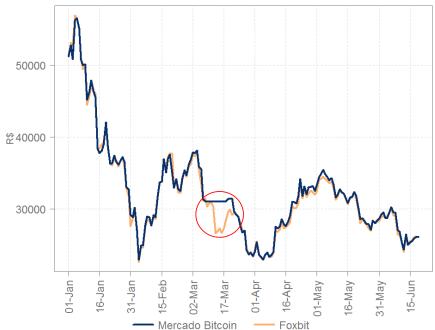
Levando em consideração que a história do Bitcoin e das criptomoedas é relativamente curta e que a análise de Felipe foi feita Jun/2017, me proponho a avaliar se resultados similares seriam encontrados 1 ano depois (amostra maior). É possível que o mercado brasileiro tenha se desenvolvido suficientemente ao longo desse último ano de tal forma que não existam mais oportunidades de arbitragem ou, então, que ainda existam tais oportunidades, porém com menor frequência e menor grau. Para isso, vou realizar um estudo bem parecido ao que foi feito por Felipe, desenvolvendo um estudo econométrico, buscando compreender se o preço do mercado brasileiro de criptomoedas ainda demora a responder à uma variação no preço do Bitcoin no mercado americano, e um exercício empírico, buscando entender se, na prática, existe ou não possibilidade de arbitragem.

4 - Análise Econométrica:

No Brasil, existe uma serie de corretoras, onde é possível se negociar, por exemplo, Bitcoin (BTC) por Real (BRL). Se os mercados de criptomoedas fossem eficientes, a cotação de 1 BTC em BRL deveria corresponder a cotação do BTC em Dólar (USD) vezes o câmbio BRL/USD e, além disso, a resposta da cotação no mercado nacional (menor volume) deveria responder a variações dos mercados internacionais (maior volume). Caso o mercado nacional demore a responder (ou mesmo não responda) a variações na cotação do BTC nos mercados internacionais, surge, possivelmente, a oportunidade de arbitrar nesse mercado.

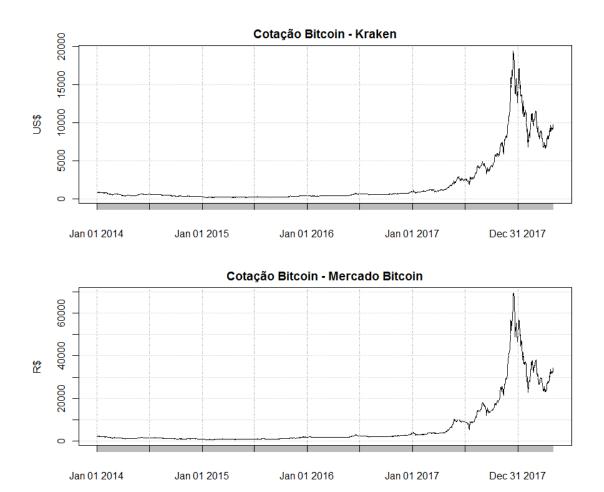
Parar testar se o mercado nacional de criptomoedas responde a variações no preço do Bitcoin no mercado internacional vou realizar Testes de Resposta ao Impulso da cotação do BTC em uma corretora no Brasil em relação a uma variação de 1 desvio padrão na cotação do BTC em uma corretora relevante nos Estado Unidos, a Kraken. A Foxbit (maior corretora de Bitcoin no Brasil) permaneceu fechada durante aproximadamente duas semanas em março desse ano, devido a problemas operacionais. Por isso, vou utilizar os dados de preço do Mercado Bitcoin (segunda maior corretora nacional em termos de volume). No gráfico 8 abaixo é possível observar o período em que a Foxbit ficou fechada e, além disso, verificar a série histórica da cotação no Mercado Bitcoin.

Gráfico 8 – Preço Bitcoin (Mercado Bitcoin e Foxbit)



Vou utilizar a linguagem R de programação (linguagem de programação "opensource" ideal para manipulação de dados e cálculos estatísticos) para realizar a análise econométrica e obter os dados necessários, em conjunto com APIs ("Application Programming Interface" ou "Interface de Programação de Aplicativos") disponibilizados pelas corretoras e por sites que disponibilizam bases de dados, como o site cryptocompare.com. Os códigos estão disponíveis no Apêndice da monografia, para que o estudo seja recriado caso desejado.

Antes de começar o processo para se realizar o Teste de Resposta ao impulso, vamos observar como as series das cotações no Mercado Bitcoin e Kraken se comportam:

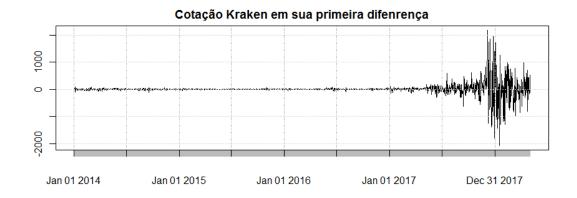


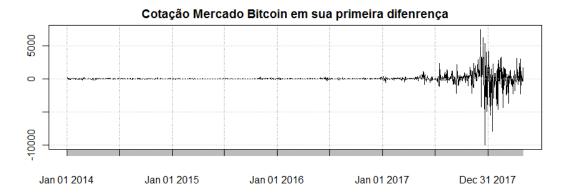
Observando o gráfico de ambas as séries, fica aparente que essas não são estacionárias (como é desejável para que se possa fazer o teste de resposta ao impulso). Ainda assim, vou verificar se existe raiz unitária em cada uma das séries, utilizando um teste Dickey Fuller Aumentado (ADF). Esse teste é bem simples no R, necessitando apenas o uso da função

adf.test(), do pacote"tseries". Abaixo está disponível o resultado dos dois testes, em que a hipótese nula é a de que existe raiz unitária.

OBS: a variável "kraken.ts" e "mercadobitcoin.ts", que aparecem abaixo nos testes ADF, são as series temporais da cotação de fechamento (equivalente a 00:00 GMT+0, já que os mercados de criptomoedas funcionam 24h internacionalmente) do Bitcoin nas corretoras Kraken, sediada nos Estados Unidos, e Mercado Bitcoin, no Brasil. Ambas as séries têm início em 01/01/2014.

Em ambos os testes os p-valores são elevados, de tal forma que não se rejeita a hipótese nula de presença de raiz unitária. Para eliminar a presença de raiz unitária nas séries e então poder realizar o Teste de Resposta ao Impulso, devemos retirar a primeira diferença de ambas as séries, o que será feito utilizando a função *diff()* no R.



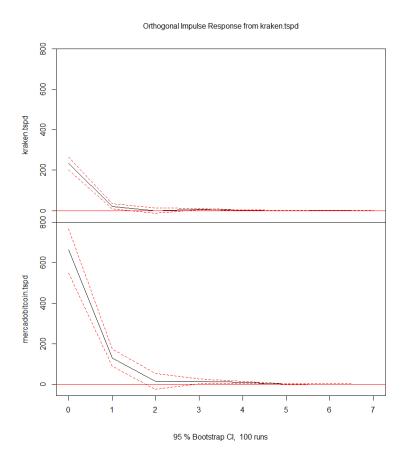


O próximo passo é testar modelos de Vetores Autoregressivos (VAR) e escolher a defasagem adequada para que a dinâmica de ajuste da cotação do Bitcoin no Brasil em resposta a uma variação na cotação do Bitcoin nos EUA seja devidamente capturada pelo Teste de Resposta ao Impulso.

O modelo VAR com 2 defasagens (p = 2) parece ser suficiente, assim como o com 3 defasagens, que, porém, possui menos graus de liberdade, por conter um maior número de regressores.

Segue abaixo o resultado do Teste de Resposta ao Impulso da cotação do Bitcoin na corretora Mercado Bitcoin (em BRL) a variação de 1 desvio padrão na cotação do Bitcoin na

corretora Kraken (em USD). Como ambas as séries são diárias, está sendo utilizado o horizonte temporal de 1 semana (7 dias) para se observar a reação das séries ao impulso.



Como podemos observar, a variável "mercadobitcoin" responde instantaneamente ao choque na variável "kraken" e com uma intensidade aproximadamente 3 vezes maior, que é um valor bem próximo da média do câmbio BRL/USD durante o mesmo período (de 2014 até 01/05/2018), de R\$3.13 por dólar, com base na taxa PTAX (calculada pelo Banco Central do Brasil) de fechamento. Observando isso, poderíamos concluir que o mercado nacional de Bitcoin responde de forma eficiente a variações no preço internacional da moeda, incorporando a variação na cotação nacional.

Existem, porém, duas ressalvas a serem feitas: 1) A frequência com que os dados estão sendo analisada é diária e 2) não sabemos se o ajuste na cotação nacional foi de tal proporção que o diferencial dos preços seja igual ao diferencial cambial. Ambos esses pontos precisam ser testados.

Em relação ao primeiro ponto, primeiramente deve-se entender se a frequência dos dados está baixa ou não. Para fazer essa avaliação, vamos observar qual o tempo médio para que seja concluída uma transação de Bitcoin. Se o tempo necessário para a aprovação for muito elevado, algo próximo de 24 horas, usar dados com frequência diária não deveria ser um

problema. Caso contrário, pode ser que a Função de Resposta ao Impulso, com base em dados diários, não esteja captando realmente a dinâmica de ajuste dos preços, mascarando uma ineficiência (demora) no ajuste e a criação de uma oportunidade de arbitragem.

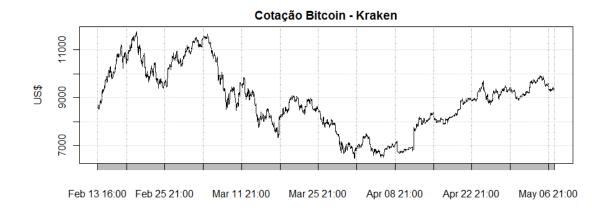
Gráfico 9 – Tempo médio para a aprovação de uma transação

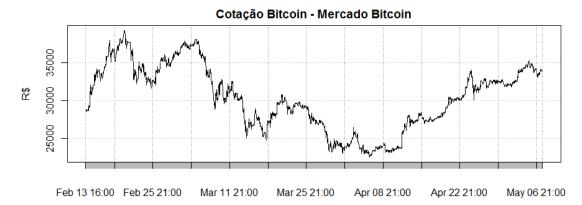


De acordo com a base de dados disponibilizada pelo site https://blockchain.info, o tempo de necessário para realizar uma transação com Bitcoin (passando pelo Blockchain da moeda), variou bastante ao longo de 2017 e 2018, mas se encontra atualmente em um patamar bem baixo. No dia 03/05/2018, o tempo médio para a aprovação de uma transação utilizando Bitcoin foi de aproximadamente 18 minutos. A mediana desse valor entre 05/2016 e 05/2018 foi de aproximadamente 58 minutos, enquanto a média foi de 130 minutos. Levando em consideração a mediana do tempo médio de uma transação, fica claro que seria melhor utilizar dados com frequência de 1 hora e não de um 1 dia.

Utilizando o API disponibilizado pelo site Cryptocompare, foi possível conseguir as séries com periodicidade de 1 hora das corretoras Kraken e Mercado Bitcoin, em uma janela de observação mais curta (13/02/2018 – 03/05/2018). Ainda assim, é possível realizar os mesmos passos que foram feitos com a base de dados com frequência diária.

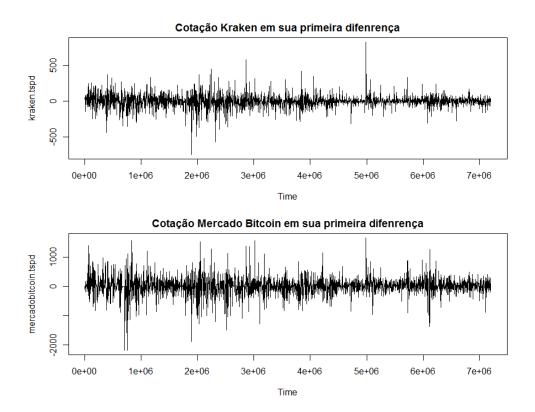
Vou repetir os mesmos passos que foram realizados para os dados com frequência diária. Como podemos verificar no gráfico abaixo, as séries com frequência de 1 hora também não são estacionários.





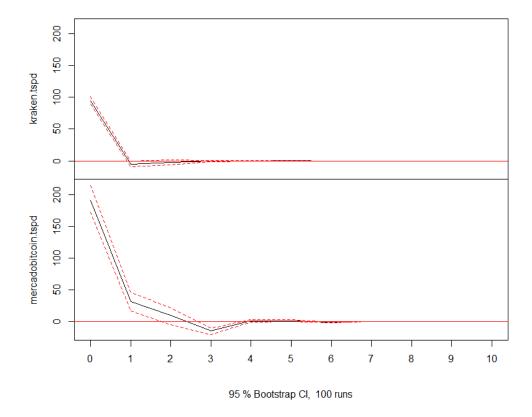
A seguir, segue o resultado do teste Dickey Fuller Aumentado (ADF) aplicado às duas séries:

Retirando a primeira diferença de ambas as séries:



Abaixo está o resultado do Teste de Resposta ao Impulso da cotação do Bitcoin na corretora Mercado Bitcoin (em BRL) a uma variação de 1 desvio padrão na cotação do Bitcoin na corretora Kraken (em USD). Como ambas as séries possuem frequência de 1 hora, está sendo utilizado o horizonte temporal de 10 horas para observar a reação das séries ao impulso.





Observando o resultado com base na Função de Resposta ao Impulso com dados de frequência de 1 hora, parece que o mercado nacional de Bitcoin responde a choques no preço internacional instantaneamente. Esse resultado destoa daquele encontrado pelo aluno Felipe Lima Prado em sua monografia, o que pode nos levar a crer que o mercado nacional se tornou mais eficiente desde junho de 2017 (quando Felipe escreveu sua monografia).

No próximo capitulo será realizado um exercício empírico para verificar se, na pratica, existe ou não oportunidade de arbitragem entre corretoras no exterior e no Brasil.

5 - Exercício Empírico — Existe oportunidade de arbitragem na prática?

Como foi exibido no exercício econométrico apresentado no último capítulo, o mercado brasileiro de criptomoedas (representado pela corretora Mercado Bitcoin) responde de forma eficiente a um choque no preço do Bitcoin no mercado de criptomoedas americano (representado pela corretora Kraken). Será, porém, que existe na prática oportunidades de arbitragem utilizando Bitcoin entre corretoras no Brasil e nos Estados Unidos? Nesse capítulo será realizado um exercício empírico com o objetivo de responder a essa pergunta.

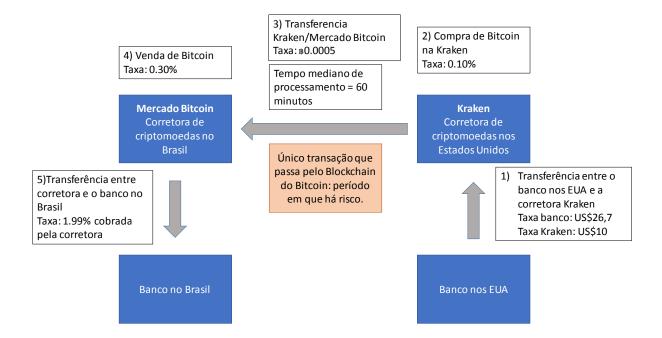
Vou simular uma transação diária em todos os dias entre janeiro de 2014 e junho de 2018. A operação consiste em buscar retorno financeiro de baixo risco com a diferença entre a cotação (preço) do Bitcoin nos EUA e no Brasil. Vamos considerar que um agente que possua dinheiro (em dólares) nos Estados Unidos em uma conta bancária em algum dos principais bancos do país (Bank of America, Chase, Citibank, entre outros) e uma conta em algum dos seguintes bancos no Brasil (Itaú, Bradesco, Banco do Brasil, entre outros). Esse agente irá realizar a seguinte operação:

- 1) Transferir dinheiro da sua conta bancária nos Estados Unidos (via "Wire transfer" para a Exchange Kraken, que aceita deposito em dólar nos EUA.
- 2) Comprar Bitcoin na corretora Kraken, pagando seu valor em Dólar.
- Transferência do Bitcoin da corretora Kraken (EUA) para a corretora brasileira Mercado Bitcoin.
- 4) Venda do Bitcoin na corretora brasileira, recebendo reais.
- 5) Saque em real para uma conta em um banco brasileiro

Para cada etapa desse processo existe uma taxa que deve ser paga, conforme é descrito na tabela abaixo:

| Estrutura de taxas | | | | | | | |
|--------------------|----------------------------|--------------|--|--|--|--|--|
| Instituição | Transação | Taxa | | | | | |
| Bancos USA | Taxa Wire transfer (média) | 26,7 dólares | | | | | |
| Kraken | Taxa de depósito | 10 dólares | | | | | |
| Kraken | Taxa compra Bitcoin | 0.10% | | | | | |
| Kraken | Saque Bitcoin | \$0.0005 | | | | | |
| Mercado Bitcoin | Depósito em BTC | 0% | | | | | |
| Mercado Bitcoin | Venda de Bitcoin | 0.30% | | | | | |
| Mercado Bitcoin | Saque em Real | 1.99% | | | | | |

Segue abaixo um organograma que ajuda na compreensão da operação:



Vou utilizar o software R de programação para realizar essa operação todos os dias entre janeiro de 2014 e junho de 2018, e verificar se houve nesse período oportunidades de arbitragem.

Em mercados eficientes, deveria valer a seguinte equação:

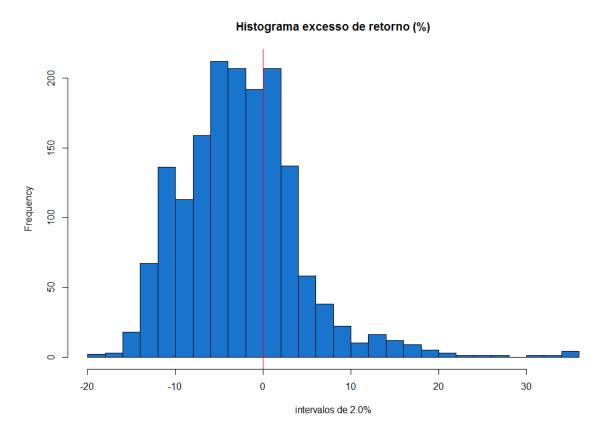
Cotação BTC no Brasil = (Cotação BTC nos EUA *(1 - taxas) * US\$)

A taxa de cambio que vou utilizar é a taxa PTAX de fechamento calculada pelo Banco Central Brasileiro diariamente (dias úteis, repetindo o valor de sexta feira no final de semana). Levando em consideração a tabela contendo a estrutura de taxas acima, a conta que será feita no R é a seguinte:

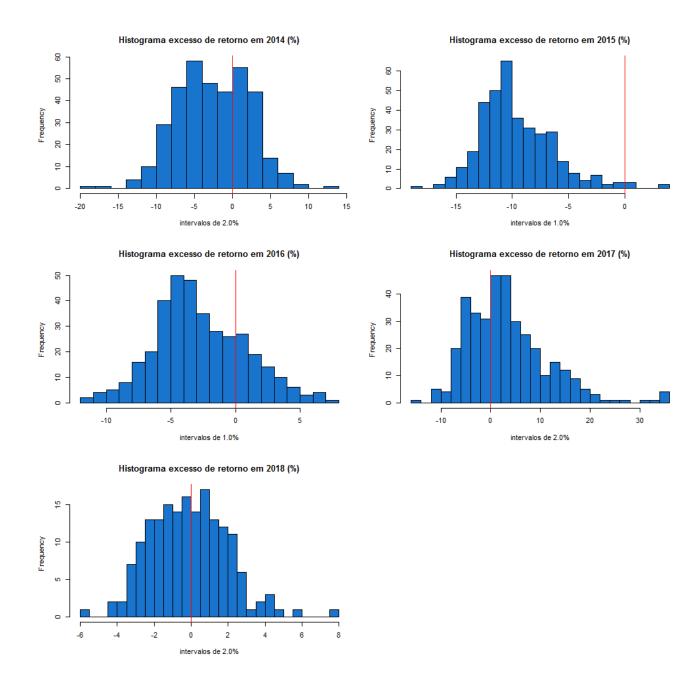
$$X = ((Cotação\ BTC\ nos\ EUA(1+0.0005) + US\$36,7) * (1+0.23) * US\$)$$

$$Excesso \ de \ retorno = \left(\frac{\text{Cotação Mercado Bitcoin}}{X}\right) - 1$$

O histograma abaixo apresenta o número de vezes em que se observou (eixo y) cada intervalo de retorno (no eixo x) no período entre 01/01/2014 e 15/06/2018.



Como se pode observar, existiram oportunidades de arbitragem em muitos dos dias da amostra, com operações podendo entregar retornos por vezes (poucas) maiores do que 30% enquanto expostas à um pequeno risco. Contudo, esse histograma considera todo o período de observação e, como disse anteriormente, é natural imaginar que, com o passar do tempo e desenvolvimento dos mercados de criptomoedas, as oportunidades de arbitragem com esse tipo específico de operação tenham se tornado cada vez mais escassas. Para isso, vamos observar os histogramas de cada um dos anos entre 2014 e 2018:

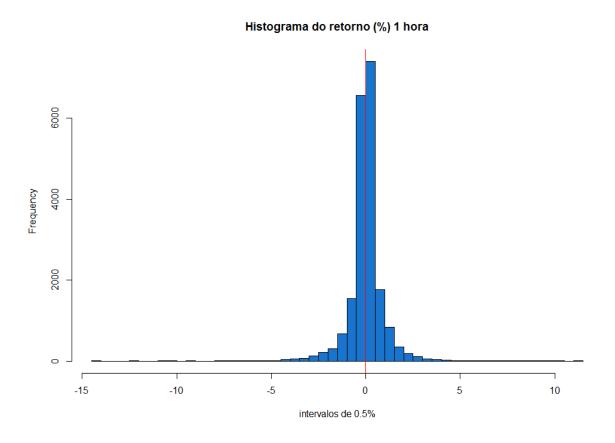


Podemos verificar nos histogramas acima que, enquanto foram raras as oportunidades de arbitragem no ano de 2015, nos anos de 2017 e 2018 (até 15 junho) elas foram mais frequentes. Existe, porém, uma grande diferença entre os histogramas de 2017 e 2018, com a frequência de oportunidades tendo sido bem maior em 2017.

É importante ressaltar que na operação acima, só se usa o Blockchain para realizar transações de Bitcoin durante a transação entre as duas corretoras. Durante essa etapa, os Bitcoins são transacionados entre as "contas" das corretoras no Blockchain. O tempo necessário para a realização dessa transação é variável (353 minutos no máximo, como pode ser visto no gráfico abaixo) e, durante esse tempo, existe o risco de que haja oscilações no preço

do Bitcoin, podendo impactar positivamente ou negativamente o resultado da operação. Como foi dito no Capítulo 4, a mediana do tempo de transação entre 05/2016 e 05/2018 foi de aproximadamente 58 minutos, enquanto a média foi de 130 minutos. Para analisar o risco a que se está exposto durante o período de transação, vou observar a variação do preço do Bitcoin na corretora Kraken entre intervalos de 1 hora, no período entre 31/12/2015 e 01/05/2018.

A variação mais positiva de 11,5% e a mais negativa foi de -14,4%, nos levam a crer que existe um enorme risco, devido à alta volatilidade do preço do Bitcoin. Contudo, ao observar o histograma a seguir, que variações desse nível são raras e que mediana da variação do preço do Bitcoin em um período de 1 hora é próxima de zero (mediana = 0.017%). Vale a pena citar que as variações foram positivas 53% das vezes e que em 46,6% das vezes a variação foi positiva e entre 0 e 1%.



Por fim, após esse exercício empírico, é possível dizer que a operação analisada possibilita, mesmo com todas as taxas que são cobradas, eventuais oportunidades de retorno com baixa exposição a risco, merecendo a atenção de investidores que se adequem ao perfil necessário para realizar a operação (ou seja, que possuam conta em algum banco nos Estados Unidos).

6 - Conclusão:

Através da análise sobre os mais recentes desenvolvimentos de regulação e amadurecimento dos mercados de criptomoedas, foi possível avaliar como que o aumento exponencial do volume de transação e do preço do Bitcoin e das diversas criptomoedas existente ao longo do tempo, principalmente no ano de 2017, foram fatores fundamentais para o aumento do interesse de reguladores pelas criptomoedas. No final de 2017, as criptomoedas eram o "centro das atenções". Diversos bancos centrais ao redor do mundo começaram a se posicionar e até mesmo a tomar decisões relevantes sobre a utilização e legalidade das criptomoedas. A queda vertiginosa nos preços em 2018, porém, foram mais do que suficientes para gerar uma grande redução do volume de transação de criptomoedas e do interesse popular pelo assunto. Consequentemente, os reguladores, aparentemente, passaram a focar em outros assuntos, reduzindo a velocidade dos desenvolvimentos em prol da regulação e legalização das criptomoedas.

Em um segundo momento, analisei a existência de oportunidades de arbitragem utilizando Bitcoin. Os resultados da análise econométrica que foi realizada no quarto capítulo, em comparação com os resultados observados por Felipe Prado em sua monografia em junho de 2017, possibilitaram concluir que o mercado brasileiro de Bitcoin se desenvolveu ao longo do último ano, respondendo de forma mais eficiente a variações no preço internacional do Bitcoin. Esse resultado ajuda a indicar que oportunidades de arbitragem estão ficando mais escassas. Com base nos resultados da análise empírica, porém, foi possível concluir que ainda existem oportunidades de retornos com baixo risco, mesmo que esses sejam cada vez mais raros. Assim, aquele que estiver atento às oportunidades, poderá lucras nesse mercado que ainda incipiente.

7 - Referências Bibliográficas:

- Bank For International Settlements. (2017). BIS Quarterly Review, September 2017.
- Bank For International Settlements. (2017, February). Distributed ledger technology in payment, clearing and settlement An analytical framework.
- Bech, M. L., & Garratt, R. (2017). Central bank cryptocurrencies. Bank for International Settlements.
- Catalini, C., & Gans, J. S. (2016, December). SOME SIMPLE ECONOMICS OF THE BLOCKCHAIN. NBER WORKING PAPER SERIES. Retrieved from http://www.nber.org/papers/w22952
- China is turning against cryptocurrencies. (2017, October 2). The Economist. Retrieved from The Economist: https://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2017/10/daily-chart-0
- INTERNATIONAL MONETARY FUND: Monetary and Capital Markets, Legal, and Strategy and Policy Review Departments. (2016). Virtual Currencies and Beyond: Initial Considerations.
- Kim, C. (2017, SEPTEMBER 28). South Korea bans raising money through initial coin offerings. Reuters. Retrieved from https://www.reuters.com/article/us-southkorea-bitcoin/south-korea-bans-raising-money-through-initial-coin-offerings-idUSKCN1C408N
- Krauss, C. (2015). Statistical arbitrage pairs trading strategies: Review and outlook. Econstor.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.
- SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION. (2017, July 25). Report of Investigation Pursuant to Section 21(a) of the Securities Exchange Act of 1934: The DAO.
- Thiele, C.-L. (2017, September 20). From Bitcoin to digital central bank money still a long way to go.

http://www.jsfour.com/arbitraging-bitcoin-with-usdt

https://www.reddit.com/r/BitcoinMarkets/comments/60odjx/any_recommended_arbitrage_bo t_around_these_days/

https://blockchain.info/charts/avg-confirmation-time?timespan=all&daysAverageString=30 https://www.criptomoedasfacil.com/arbitragem-de-bitcoin-o-que-e-e-como-fazer/

https://www.criptomoedasfacil.com/comparativo-de-taxas-entre-exchanges-brasileiras/

https://www.investopedia.com/articles/company-insights/090716/looking-bitcoin-arbitrage-

opportunities-read-first.asp

http://bitvalor.com/

http://economia.uol.com. br/noticias/bloomberg/2017/01/17/traders-automatizado-automatizado-automati

aproveitam-bitcoin-para-obter-lucro-rapido.htm

Bitcoin: análise da criptomoeda no mercado brasileiro (2017) - Prado, Felipe

https://min-api.cryptocompare.com/data/price?fsym=BTC&tsyms=USD"

https://www.anythingcrypto.com/guides/bitcoin-arbitrage-trade-bot

https://github.com/butor/blackbird

https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-01-09/bitcoin-s-43-arbitrage-trade-is-a-lot-

tougher-than-it-looks

https://guiadobitcoin.com.br/voce-pode-nao-saber-mas-pode-estar-negociando-bitcoin-com-

bots-de-trading/

https://www.cointradermonitor.com/

https://bitcoincharts.com/charts/volumepie/

https://livecoins.com.br/site-para-arbitragem-bitcoin/

https://www.cointradermonitor.com/arbitragem.php

https://www.cointradermonitor.com/arbitragem.php

https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-06-18/regulated-crypto-custody-is-almost-

here-it-s-a-game-changer

https://www.criptomoedasfacil.com/arbitragem-de-bitcoin-o-que-e-e-como-fazer/

https://www.tecmundo.com.br/mercado/122495-firebit-explica-funciona-corretora-

criptomoeda.htm

https://www.tecmundo.com.br/torrent/192-o-que-e-p2p-.htm

https://www.arbitrage.expert

The Limits of Arbitrage - Andrei Shleifer, Robert W. Vishny - NBER Working Paper No.

516

Statistical Arbitrage in the U.S. Equities Market – Marco Avellaneda and Jeong-Hyun Lee

July 2008

https://nulltx.com/top-6-bitcoin-arbitrage-bots/

https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-04-19/as-bitcoin-plunged-these-crypto-

hedge-funds-kept-making-money

https://www.kraken.com/help/fees

https://www.moneyandbanking.com/commentary/2017/1/22/what-bitcoin-has-become

8 - Apêndice:

Com o intuito de incentivar e fomentar a pesquisa sobre o mundo das criptomoedas, disponibilizo nesse apêndice o *script* do R que desenvolvi ao longo do projeto de monografia. Nele podem ser encontradas as funções, pacotes, fontes de dados e contas que utilizei nos capítulos 4 e 5 desse trabalho. Esse material pode ser aproveitado para a análise de outras operações utilizando criptomoedas, ajudando na descoberta de novas oportunidades de arbitragem. Para utilizá-lo, basta copiar o código abaixo do PDF e colar em seu RStudio.

```
##### Coleta Arbitragem Bitoin -----
##### pacotes -----
library("rjson")
library("lubridate")
library("xts")
library("anytime")
library("ggplot2")
library("bizdays")
library("xlsx")
##### Preco nas Corretoras Brasileira e Americanas ----
## https://min-api.cryptocompare.com/
exchanges = fromJSON(file = "https://min-api.cryptocompare.com/data/all/exchanges")
# USA
exchanges$Coinbase
exchanges$Poloniex
exchanges$BitTrex
# Brazil
```

exchanges\$MercadoBitcoin exchanges\$Foxbit

```
# cc = fromJSON(file ="https://min-api.cryptocompare.com/data/price?fsym=BTC&tsyms=USD")
        ### Puxando dados do API do site Cryptocompare
        foxbit
                                                        fromJSON(file
                                                                                          ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histoday?fsym=BTC&tsym=BRL&limit=10000&e=Foxbit")
        mercadobitcoin
                                                           fromJSON(file
                                                                                          ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histoday?fsym=BTC&tsym=BRL&limit=10000&e=mercadobitcoin")
                                                         fromJSON(file
                                                                                          ="https://min-
        coinbase
api.cryptocompare.com/data/histoday?fsym=BTC&tsym=USD&limit=10000&e=coinbase")
                                                         fromJSON(file
                                                                                          ="https://min-
        poloniex
api.cryptocompare.com/data/histoday?fsym=BTC&tsym=USD&limit=10000&e=poloniex")
        bittrex
                                                        fromJSON(file
                                                                                          ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histoday?fsym=BTC&tsym=USD&limit=10000&e=bittrex")
        kraken
                                                        fromJSON(file
                                                                                          ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histoday?fsym=BTC\&tsym=USD\&limit=10000\&e=kraken")
        corretoras <- c(foxbit, mercadobitcoin, coinbase, poloniex, bittrex, kraken)
        ### Organizando dados em dataframes e depois em XTS
        # funcao anydate ajuda a converter timestamp em data
        #? possivel obter a hora exata com anytime
        #foxbit
        foxbit <- data.frame(matrix(unlist(foxbit$Data), nrow = length(foxbit$Data), byrow =
stringsAsFactors = F)
        colnames(foxbit) <- c("time","close","high","low","open","volume_from","volume_to")</pre>
        foxbit <- xts(foxbit[,-1],anydate(foxbit$time))</pre>
```

```
#mercado bitcoin
        mercadobitcoin
                                         data.frame(matrix(unlist(mercadobitcoin$Data),
                                                                                               nrow
length(mercadobitcoin$Data), byrow = T), stringsAsFactors = F)
        colnames(mercadobitcoin) <- c("time", "close", "high", "low", "open", "volume from", "volume to")
        mercadobitcoin <- xts(mercadobitcoin[,-1],anydate(mercadobitcoin$time))
        #coinbase
        coinbase <- data.frame(matrix(unlist(coinbase$Data), nrow = length(coinbase$Data), byrow = T),
stringsAsFactors = F)
        colnames(coinbase) <- c("time", "close", "high", "low", "open", "volume from", "volume to")
        coinbase <- xts(coinbase[,-1],anydate(coinbase$time))</pre>
        #poloniex
        poloniex <- data.frame(matrix(unlist(poloniex$Data), nrow = length(poloniex$Data), byrow = T),
stringsAsFactors = F)
        colnames(poloniex) <- c("time", "close", "high", "low", "open", "volume_from", "volume_to")
        poloniex <- xts(poloniex[,-1],anydate(poloniex$time))</pre>
        #bittrex
        bittrex <- data.frame(matrix(unlist(bittrex$Data), nrow = length(bittrex$Data), byrow = T),
stringsAsFactors = F)
        colnames(bittrex) <- c("time", "close", "high", "low", "open", "volume from", "volume to")
        bittrex <- xts(bittrex[,-1],anydate(bittrex$time))</pre>
        #kraken
        kraken <- data.frame(matrix(unlist(kraken$Data), nrow = length(kraken$Data), byrow = T),
stringsAsFactors = F)
        colnames(kraken) <- c("time", "close", "high", "low", "open", "volume from", "volume to")
        kraken <- xts(kraken[,-1],anydate(kraken$time))
        # usar funcao anytime() ou anydate() para ler a data vinda do timestamp
        ### plot para verificar series
        plot(foxbit["2018"]$close)
        lines(mercadobitcoin["2018"]$close, col = "red")
        plot(foxbit["2018"]$close)
```

```
lines(mercadobitcoin["2018"]$close, col = "red")
        ##### API Ptax ----
        #definindo hoje > alterar caso queira outro dia de fechamento.
        hoje ptax <- today()
        #data de inicio
        data inicio ptax <- "01-02-2014" #mes-dia-ano
        #data final ptax
        data_final_ptax <- as.character(paste(sprintf("%02d",month(hoje_ptax)),
                                 sprintf("%02d",day(hoje ptax)),
                                 year(hoje ptax),sep = "-"))
        #link API com variacoes na data
        link_ptax
                                                                                                        <-
paste0("https://olinda.bcb.gov.br/olinda/servico/PTAX/versao/v1/odata/CotacaoMoedaPeriodo",
                    "(moeda=@moeda,dataInicial=@dataInicial,dataFinalCotacao=@dataFinalCotacao)",
                    "?%40moeda=%27USD%27&%40",
                    "dataInicial=%27",data inicio ptax,"%27&%40dataFinalCotacao=%27",data final ptax,
                    "%27&%24format=json")
        #json API
        ptax_raw = fromJSON(file = link_ptax )
        ptax_raw <- data.frame(matrix(unlist(ptax_raw$value), nrow = length(ptax_raw$value), byrow = T),
stringsAsFactors = F)
        colnames(ptax_raw)
                                                                                                        <-
c("paridadeCompra", "paridadeVenda", "cotacaoCompra", "cotacaoVenda", "dataHoraCotacao", "tipoBoletim")
        # filtrando para pegar apenas os boletins de fechamento
        ptax <- ptax_raw[ptax_raw$tipoBoletim=="Fechamento",]
        # transformando em xts
```

```
dates ptax <- anydate(ptax$dataHoraCotacao)</pre>
        #OBS: aqui o subset ajuda a filtrar as colunas que eu nao quero do meu dataframe
        ptax <- subset(ptax, select= -c(dataHoraCotacao, tipoBoletim))</pre>
        ptax <- sapply(ptax, "as.numeric")</pre>
        ptax <- xts(ptax,dates ptax)</pre>
        ##### Exercício Empírico -----
        just<-merge(mercadobitcoin$close,kraken$close,ptax$cotacaoVenda)
        just$cotacaoVenda<-na.locf(just$cotacaoVenda)
        colnames(just) <- c("mercado bitcoin","kraken","ptax")</pre>
        tail(just,15)
        just$taxambc <- just$kraken*0.0005 #taxa de 0.0005 bitcoin de saque na kraken em dolar
        just$cambio justo <- (just$kraken + just$taxambc + 36.7)*just$ptax * (1.023)
        just$upside <- ((just$mercado_bitcoin/just$cambio_justo)-1)*100
        just <- just["2013-12-31/"]
        par(mfrow=c(1,1))
        hist(as.vector(just$upside),breaks = 20, main = "Histograma excesso de retorno (%)", xlab = "intervalos
de 2.0%",
           col = "dodgerblue3")
        abline(v=0,col=2)
        par(mfrow=c(3,2))
        hist(as.vector(just$upside["2014"]),breaks = 20, main = "Histograma excesso de retorno em 2014 (%)",
           xlab = "intervalos de 2.0%",
           col = "dodgerblue3")
        abline(v=0,col=2)
```

```
hist(as.vector(just$upside["2015"]),breaks = 20, main = "Histograma excesso de retorno em 2015 (%)",
           xlab = "intervalos de 1.0%",
           col = "dodgerblue3")
        abline(v=0,col=2)
        hist(as.vector(just$upside["2016"]),breaks = 20, main = "Histograma excesso de retorno em 2016 (%)",
           xlab = "intervalos de 1.0%",
           col = "dodgerblue3")
        abline(v=0,col=2)
        hist(as.vector(just$upside["2017"]),breaks = 20, main = "Histograma excesso de retorno em 2017 (%)",
           xlab = "intervalos de 2.0%",
           col = "dodgerblue3")
        abline(v=0,col=2)
        hist(as.vector(just$upside["2018"]),breaks = 20, main = "Histograma excesso de retorno em 2018 (%)",
           xlab = "intervalos de 2.0%",
           col = "dodgerblue3")
        abline(v=0,col=2)
        ##### Risco Direcional BTC 1 hora ----
        # pegando do site Blockchain info qual o tempo medio de aprovação
                            fromJSON(file
                                                           'https://api.blockchain.info/charts/avg-confirmation-
        t.a
time?timespan=all&daysAverageString=30&format=json')
        t.a <- data.frame(matrix(unlist(t.a$values), nrow = length(t.a$values), byrow = T), stringsAsFactors = F)
        colnames(t.a) <- c("time", "average aproving time")
        t.a \le xts(t.a[,-1],anytime(t.a\$time))
        tempo\_confirmacao <- c(mean(t.a), median(t.a))
        print(tempo_confirmacao)
        plot(x = anydate(index(t.a)), y = t.a, main = "Tempo médio para a aprovação de uma transação", ylab =
"minutos",
           t = "l", lwd = 3, col = "dodgerblue4", xlab = "")
        # restultado excelente para o trabalho. Mediana muito proxima de 1 hora, bom para os dados
        # coletando dados para verificar retornos na janela de 1 hora.
        ## tentando coletar dados do cryptocompare para pediodos de 1 minuto
```

```
teste
                                                         fromJSON(file
                                                                                             ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histominute?fsym=BTC&tsym=USD&limit=100000&e=poloniex")
        teste.df <-
                      data.frame(matrix(unlist(teste$Data), nrow = length(teste$Data), byrow =
stringsAsFactors = F)
        colnames(teste.df) <- c("time", "close", "high", "low", "open", "volume_from", "volume_to")
        teste.df <- xts(teste.df[,-1],anydate(teste.df\$time))
        # Conclusao: nao deu muito certo. O maximo de minutos que eu consegui foi de 2000 (limit)
        # teste 2. Agora tentando com horas. Parece funcionar melhor, mas a janela ainda eh curta.
        teste2
                                                          fromJSON(file
                                                                                              ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histohour?fsym=BTC&tsym=USD&limit=100000&e=poloniex")
        # Ficou, entao, decidido utilizar usar uma outra fonte de dados, para conseguir um historico mais longo.
        # A base escolhida foi:
        #https://bitcoincharts.com/charts/krakenUSD#rg150zigHourlyzczsg2017-12-03zeg2018-05-
02ztgSzm1g10zm2g25zv
        # exportei a base de dados pro excel e vou upload ela pro R. Selecionei a opcao de "hourly".
        # base -> Kraken
        dados kraken
                                   read.xlsx(file="X:/João
                                                                Rômulo/Monografia/Monografia/Arbitragem
Mono/hourly_BTC.xlsx", sheetName = "dados_kraken", header = T)
        dados kraken$"retorno" <- dados kraken$X.*100
        ret<- xts(dados kraken$retorno,order.by = anytime(dados kraken$Data))
        #vou olhar os dados a partir de 2016
        ret<- ret["2016/"]
        hist(ret,breaks = 25, main = "Histograma do retorno (%) 1 hora", xlab = "intervalos de 1.0%",
           col = "dodgerblue3")
        abline(v=0,col=2)
        hist(ret,breaks = 50, main = "Histograma do retorno (%) 1 hora", xlab = "intervalos de 0.5%",
           col = "dodgerblue3")
        abline(v=0,col =2)#cada coluna representa 0.5%
        median(ret)
        max(ret)
        min(ret)
```

```
# numero de vezes que foi maior do que 0 e menor do que 0
        n.pos.kraken.1h <- (nrow(ret[ret > 0,])/nrow(ret))
        n.neg.kraken.1h <- (nrow(ret[ret < 0,])/nrow(ret))
        # retorno [0,0.5] = 0.3665019 (37\%)
        (nrow(ret[ret \le 0.5 \& ret \ge 0,])/nrow(ret))
        # retorno [-0.5,0) = 0.3166756 (32\%)
        (nrow(ret[ret \ge -0.5 \& ret < 0,])/nrow(ret))
        # retorno [0,1] = 0.453086 (45\%)
        (nrow(ret[ret \le 1 \& ret \ge 0,])/nrow(ret))
        ##### Parte do codigo referente ao teste de resposta ao impulso -----
        library("vars")
        library(tseries)
        # Adaptando as series coletadas do crypto compare
        #Fazer testes posteriormente com outras criptomoedas
        #Ex: LTC e BCH
        #fazer teste com LTC e BCH
        teste<-fromJSON(file
                                                                                                ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histoday?fsym=BCH&tsym=USD&limit=1000&e=coinbase")
        teste <- data.frame(matrix(unlist(teste$Data), nrow = length(teste$Data), byrow = T), stringsAsFactors
= F)
        colnames(teste) <- c("time","close","high","low","open","volume_from","volume_to")
        teste <- xts(teste[,-1],anydate(teste$time))
        teste.2<-fromJSON(file
                                                                                                ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histoday?fsym=LTC&tsym=BRL&limit=1000&e=mercadobitcoin")
        teste.2 <- data.frame(matrix(unlist(teste.2$Data), nrow = length(teste.2$Data), byrow =
stringsAsFactors = F)
        colnames(teste.2) <- c("time","close","high","low","open","volume_from","volume_to")
        teste.2 <- xts(teste.2[,-1],anydate(teste.2$time))
```

```
teste.3
                                                         fromJSON(file
                                                                                            ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histoday?fsym=LTC&tsym=BRL&limit=1000&e=Foxbit")
        teste.3 <- data.frame(matrix(unlist(teste.3$Data), nrow = length(teste.3$Data), byrow = T),
stringsAsFactors = F)
        colnames(teste.3) <- c("time", "close", "high", "low", "open", "volume from", "volume to")
        teste.3 <- xts(teste.3[,-1],anydate(teste.3$time))
        #hora
                                                        fromJSON(file
                                                                                            ="https://min-
        teste
api.cryptocompare.com/data/histohour?fsym=BTC&tsym=USD&limit=100000&e=kraken")
        kraken hr <- data.frame(matrix(unlist(teste$Data), nrow = length(teste$Data), byrow = T),
stringsAsFactors = F)
        colnames(kraken hr) <- c("time", "close", "high", "low", "open", "volume from", "volume to")
        kraken hr <- xts(kraken hr[,-1],anytime(kraken hr$time))
        teste
                                                        fromJSON(file
                                                                                            ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histohour?fsym=BTC&tsym=BRL&limit=100000&e=mercadobitcoin")
        mb hr <- data.frame(matrix(unlist(teste$Data), nrow = length(teste$Data), byrow = T), stringsAsFactors
= F)
        colnames(mb hr) <- c("time", "close", "high", "low", "open", "volume from", "volume to")
        mb hr <- xts(mb hr[,-1],anytime(mb hr$time))
        #minuto
                                                        fromJSON(file
                                                                                            ="https://min-
        teste
api.cryptocompare.com/data/histominute?fsym=BTC&tsym=USD&limit=100000&e=kraken")
        kraken hr <- data.frame(matrix(unlist(teste$Data), nrow = length(teste$Data), byrow =
stringsAsFactors = F)
        colnames(kraken_hr) <- c("time","close","high","low","open","volume_from","volume_to")</pre>
        kraken_hr <- xts(kraken_hr[,-1],anytime(kraken_hr$time))</pre>
                                                        fromJSON(file
                                                                                            ="https://min-
        teste
api.cryptocompare.com/data/histominute?fsym=BTC&tsym=BRL&limit=100000&e=mercadobitcoin")
        mb hr <- data.frame(matrix(unlist(teste$Data), nrow = length(teste$Data), byrow = T), stringsAsFactors
= F)
        colnames(mb_hr) <- c("time","close","high","low","open","volume_from","volume_to")
        mb_hr <- xts(mb_hr[,-1],anytime(mb_hr$time))
```

```
#series apenas no fechamento, a partir de 2014
        mercadobitcoin.ri <- mercadobitcoin$close["2014/"]
        kraken.ri <- kraken$close["2014/"]
        # Plot da serie pura:
        par(mfrow=c(1,1),oma = c(1,1,1,1),mar = c(5,6,2,3))
        plot(kraken.ri, main = "Cotação Bitcoin - Kraken", ylab = "US$")
        plot(mercadobitcoin.ri, main = "Cotação Bitcoin - Mercado Bitcoin", ylab = "R$")
        #para rodar o teste ADF, eu preciso que as series estajam em ts e nao em xts
        #para isso, vou usar a funcao as.ts()
        kraken.ts <- as.ts(kraken.ri)
        mercadobitcoin.ts <- as.ts(mercadobitcoin.ri)
        #Realizando o teste ADF para ambas as series:
        adf.test(kraken.ts)
        adf.test(mercadobitcoin.ts)
        # resultado: series nao eh estacionaria.
        # para torna- la estacionária, eu vou tirar a primeira diferenca dela.
        kraken.tspd<- diff(kraken.ts)
        mercadobitcoin.tspd<- diff(mercadobitcoin.ts)
        par(mfrow=c(2,1),oma = c(1,1,1,1),mar = c(5,6,2,3))
        plot(kraken.tspd, main = "Cotação Kraken em sua primeira difenrença") #vai dar merda nas datas pq
nao eh xts
        plot(mercadobitcoin.tspd, main = "Cotação Mercado Bitcoin em sua primeira difenrença")
        # montando agora os Vetores Autorregressivos:
        y <- ts.intersect(kraken.tspd,mercadobitcoin.tspd)
```

```
v01 < -VAR(y,p=1)
        v02 < -VAR(y,p=2)
        v03 < -VAR(y,p=3)
        # f1 <- predict(v01, n.ahead = 12)
        # plot(f1)
        plot(irf(v02,impulse = "kraken.tspd",n.ahead = 7,ci = 0.95))
        plot(irf(v02,impulse = "mercadobitcoin.tspd",n.ahead = 7,ci = 0.95))
        ##### Resposta ao impulso em 1 Hora -----
        #series apenas no fechamento, a partir de 2018
        kraken.hr
                                                           fromJSON(file
                                                                                              ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histohour?fsym=BTC&tsym=USD&limit=100000&e=kraken")
        kraken.hr <- data.frame(matrix(unlist(kraken.hr$Data), nrow = length(kraken.hr$Data), byrow = T),
stringsAsFactors = F)
        colnames(kraken.hr) <- c("time", "close", "high", "low", "open", "volume from", "volume to")
        kraken.hr <- xts(kraken.hr[,-1],anytime(kraken.hr$time))
        mercadobitcoin.hr
                                                              fromJSON(file
                                                                                              ="https://min-
api.cryptocompare.com/data/histohour?fsym=BTC&tsym=BRL&limit=100000&e=mercadobitcoin")
        mercadobitcoin.hr
                                        data.frame(matrix(unlist(mercadobitcoin.hr$Data),
                                                                                               nrow
length(mercadobitcoin.hr$Data), byrow = T), stringsAsFactors = F)
        colnames(mercadobitcoin.hr) <- c("time", "close", "high", "low", "open", "volume from", "volume to")
        mercadobitcoin.hr <- xts(mercadobitcoin.hr[,-1],anytime(mercadobitcoin.hr$time))
        # mercadobitcoin.ri <- mb_hr$close
        kraken.ri <- kraken.hr$close
        mercadobitcoin.ri <- mercadobitcoin.hr$close
        # Plot da serie pura:
        par(mfrow=c(2,1),oma = c(1,1,1,1),mar = c(5,6,2,3))
        plot(kraken.ri, main = "Cotação Bitcoin - Kraken", ylab = "US$")
        plot(mercadobitcoin.ri, main = "Cotação Bitcoin - Mercado Bitcoin", ylab = "R$")
```

```
#para rodar o teste ADF, eu preciso que as series estajam em ts e nao em xts
        #para isso, vou usar a função as.ts()
        kraken.ts <- as.ts(kraken.ri)
        mercadobitcoin.ts <- as.ts(mercadobitcoin.ri)
        #Realizando o teste ADF para ambas as series:
        adf.test(kraken.ts)
        adf.test(mercadobitcoin.ts)
        # resultado: series nao eh estacionaria.
        # para torna- la estacionária, eu vou tirar a primeira diferenca dela.
        kraken.tspd<- diff(kraken.ts)
        mercadobitcoin.tspd<- diff(mercadobitcoin.ts)
        par(mfrow=c(2,1),oma = c(1,1,1,1),mar = c(5,6,2,3))
        plot(kraken.tspd, main = "Cotação Kraken em sua primeira difenrença") #vai dar merda nas datas pq
nao eh xts
        plot(mercadobitcoin.tspd, main = "Cotação Mercado Bitcoin em sua primeira difenrença")
        # montando agora os Vetores Autorregressivos:
        y <- ts.intersect(kraken.tspd,mercadobitcoin.tspd)
        v01 < -VAR(y,p=1)
        v02 < -VAR(y,p=2)
        v03 < -VAR(y,p=3)
        \# f1 < -predict(v01, n.ahead = 12)
        # plot(f1)
        plot(irf(v02,impulse = "kraken.tspd",n.ahead = 10,ci = 0.95))
        plot(irf(v02,impulse = "mercadobitcoin.tspd",n.ahead = 7,ci = 0.95))
```