

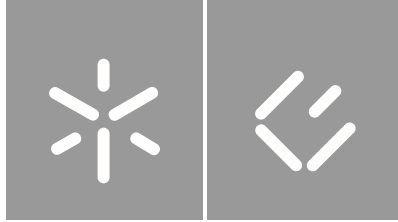


Universidade do Minho

Escola de Economia e Gestão

Bruno Filipe Carvalho Cunha

**Criptomoedas: Gestão de Carteiras,
Diversificação e Volatilidade**



Universidade do Minho

Escola de Economia e Gestão

Bruno Filipe Carvalho Cunha

**Criptomoedas: Gestão de Carteiras,
Diversificação e Volatilidade**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Economia Monetária, Bancária e
Financeira

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Professor Doutor Luís Francisco Gomes Dias
Aguiar Conraria**

Agosto de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor através do Repositório UM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgal

CC BY-NC-SA

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor Luís Francisco Gomes Dias Aguiar Conraria, por todo o apoio na elaboração da dissertação. Foi crucial no seu desenvolvimento.

Agradeço à Universidade do Minho por me ter abraçado neste percurso académico, pelas excelentes oportunidades, aprendizagens e sobretudo pelo excelente acompanhamento profissional, que foi essencial para que fosse possível chegar a este fim.

Por fim, o meu maior agradecimento vai para os meus pais, Sérgio Cunha e Dulce Carvalho. Desde que me conheço, enquanto pessoa, que o meu pai sempre foi o meu braço direito, companheiro de todos os momentos e a minha mãe sempre foi o meu maior pilar, nunca me deixou desistir. Todo o seu esforço e dedicação fizeram possível ser quem eu sou hoje.

UM ETERNO OBRIGADO!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducentes à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

Título: Criptomoedas: Gestão de Carteiras, Diversificação e Volatilidade

Uma criptomoeda é um ativo financeiro, podendo ser armazenada e utilizada como um meio de pagamento. O conceito surgiu com a projeção da Bitcoin em 2008, por Satoshi Nakamoto, e é viável devido à tecnologia *blockchain*.

Com a crescente popularização da criptomoeda e dado que os participantes do mercado e os investidores têm interesse na relação entre variáveis macroeconómicas e ativos em que estão dispostos a investir, este estudo visa ajudar a perceber até que ponto os investidores estão a diversificar a sua carteira ao investir em criptomoedas. Para tal, foram recolhidos dados diários, desde 2019 a 2021, das cotações das principais criptomoedas: Bitcoin, Ethereum, Tether, Binance Coin e Cardano. O modelo econométrico utilizado na análise foi o modelo vetor autorregressivo, que permite estimar as relações de interdependência e os impactos entre as variáveis.

O resultado obtido nesta dissertação demonstra que existe uma forte interdependência entre os criptoativos e que os investidores podem vir a sofrer caso os mesmos sejam conjugados numa carteira de investimentos. De modo geral, uma variação positiva ou negativa na Bitcoin irá provocar uma variação muito significativa na Ethereum, Binance Coin e Cardano. A única moeda que se demonstrou ilesa a esses choques foi a Tether devido à sua proposta de ser uma moeda estável.

Palavras-chave: Ativo Financeiro, Criptomoedas, Bitcoin, Ethereum, Tether, Binance Coin, Cardano, Modelo VAR.

Abstract

Title: Cryptocurrencies: Portfolio Management, Diversification and Volatility

A cryptocurrency is a financial asset and can be stored and used as a means of payment. The concept came with the projection of Bitcoin in 2008, by Satoshi Nakamoto, and is viable due to blockchain technology.

With the growing popularity of cryptocurrency and given that market participants and investors are interested in the relationship between macroeconomic variables and assets they are willing to invest in, this study aims to help understand to what extent investors diversify their portfolio by investing in cryptocurrencies. To this end, daily data was collected, from 2019 to 2021, on the quotes of the leading cryptocurrencies: Bitcoin, Ethereum, Tether, Binance Coin, and Cardano. The econometric model used in the analysis was the autoregressive vector model, which estimates the interdependence relationships and the impacts between the variables.

The result in this dissertation demonstrates a strong interdependence between cryptoassets and that investors may suffer if combined in an investment portfolio. Generally speaking, a positive or negative change in Bitcoin will cause a very significant change in Ethereum, Binance Coin, and Cardano. The only currency that proved unharmed to these shocks was Tether due to its proposal to be a stablecoin.

Keywords: Financial Asset, Cryptocurrencies, Bitcoin, Ethereum, Tether, Binance Coin, Cardano, VAR Model.

Índice

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS	ii
<i>Licença concedida aos utilizadores deste trabalho</i>	<i>ii</i>
Agradecimentos	iii
DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE.....	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Índice de Tabelas	viii
Índice de Figuras	viii
Lista de Siglas	ix
Introdução	1
Capítulo I – Revisão de Literatura	3
1.1. Criptomoedas	3
1.1.1. As Principais Criptomoedas	7
a) Bitcoin	8
b) Ethereum.....	8
c) Tether	9
d) Binance Coin	9
e) Cardano.....	9
1.2. Gestão de Carteiras	9
Capítulo II – Dados, Variáveis e Metodologia	12
2.1. Dados e Variáveis	12
2.2. Metodologia	13
2.2.1. Modelo VAR	13
2.2.2. Causalidade à Granger	14
2.2.3. Função Impulso Resposta	14
2.2.4. Decomposição de Variância	15
Capítulo III – Análise de Resultados	16
3.1. Estimação Modelo VAR	16
3.2. Causalidade à Granger.....	16
3.3. Análise Funções Impulso Resposta.....	17

3.4. Análise Decomposição de Variância	22
3.5. Análise sumária dos resultados	23
Capítulo IV – Conclusões Finais	24
Referências Bibliográficas	26

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Critérios de Seleção VAR	16
Tabela 2 - Causalidade à Granger	17

Índice de Figuras

Figura 1 - Transações entre Blocos na Blockchain.....	5
Figura 2 - Transações Hashed num único Bloco.....	5
Figura 3 - Séries Temporais	13
Figura 4 - Função Impulso Resposta com impulso em BTC	18
Figura 5 - Função Impulso Resposta com impulso em ETH	19
Figura 6 - Função Impulso Resposta com impulso em USDT	19
Figura 7 - Função Impulso Resposta com impulso em BNB.....	20
Figura 8 - Função Impulso Resposta com impulso em ADA	21
Figura 9 - Decomposição da Variância do erro de Previsão	22

Lista de Siglas

ADA	Cardano
AIC	Critério de Informação Akaike
BCE	Banco Central Europeu
BNB	Binance Coin
BTC	Bitcoin
ETH	Ethereum
FEVD	Decomposição da Variância do Erro de Previsão
FPE	Erro de previsão Final
HQ	Critério de Informação Hannan & Quinn
SC	Critério de Informação Schwarz
USDT	Tether
VAR	Vetor Autorregressivo

Introdução

O sistema financeiro é um conjunto de entidades, ativos financeiros e mercados através dos quais agentes económicos aplicam as suas poupanças. Assim, investir em ativos financeiros é aplicar uma quantidade de dinheiro a fim de reproduzir um retorno futuro. Estes ativos financeiros são cruciais para a alocação de recursos numa economia moderna, uma vez que canalizam a poupança das famílias para o setor corporativo e alocam fundos de investimento entre as empresas (Allen & Gale, 2001).

A 31 de outubro de 2008, o documento “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System” foi publicado num grupo de distribuição de mensagens eletrónicas por Satoshi Nakamoto. Neste documento nasceu a Bitcoin. A Bitcoin foi a primeira rede de pagamento ponto-a-ponto descentralizada e alimentada pelos seus utilizadores, sem a intervenção de uma autoridade central ou intermediários. Dessa forma, é intitulada como a primeira criptomoeda do mundo e há catorze anos que funciona sem qualquer interrupção.

Apesar de no mercado financeiro existirem diversos ativos no qual um investidor pode vir a investir, com o passar do tempo, as criptomoedas têm recebido um crescente interesse por parte do público não especializado devido ao forte aumento dos preços e, também, devido ao seu volume de negócios (Silahlial et al., 2019). Com a ascensão do mercado criptográfico, nomeadamente a criptomoeda, são diversos os investidores atraídos pela rentabilidade dos ativos mais voláteis que acrescentaram criptomoedas nas suas carteiras. Desse ponto de vista, as criptomoedas são consideradas um investimento e o estudo desta dissertação vai incidir sobre esse ativo.

As principais motivações que originaram esta dissertação foram a escassez de trabalhos empíricos e a falta de informação credível sobre criptomoedas, bem como as inúmeras questões voltadas em torno deste tema, nomeadamente, a questão das criptomoedas serem capazes de aumentar a eficiência duma carteira de investimentos diversificada.

Os objetivos gerais consistem em compreender a origem das criptomoedas e as suas principais características; ter um melhor entendimento acerca das técnicas de otimização de portfólios com reforço em diversificação e volatilidade; verificar a eficiência do modelo vetorial

autorregressivo (VAR) quando aplicado às criptomoedas; investigar a inter-relação entre as principais criptomoedas, nomeadamente a Bitcoin, Ethereum, Tether, Binance Coin e Cardano; analisar os impactos dos impulsos resposta e, por fim, modelar a decomposição de variância para todas as moedas.

Quanto à estrutura da dissertação, inicialmente é apresentada uma revisão crítica da literatura relacionada com a temática em estudo, onde são analisados vários estudos empíricos de diversos autores sobre criptoativos, *blockchain*, diversificação e volatilidade.

Em seguida, é abordado todo o processo empírico e metodológico, com a exposição do estudo econométrico realizado, bem como os dados e as variáveis que servem de suporte ao estudo e que são bastante pertinentes para alcançar os objetivos propostos.

Posteriormente, é apresentada a representação gráfica e análise, tanto dos dados como dos resultados. É estimado o modelo econométrico VAR, bem como a realização de funções impulso resposta e decomposição de variância.

Por fim, com base na análise apresentam-se as conclusões finais relativas ao estudo, assim como as várias referências bibliográficas que suportam a dissertação.

Capítulo I – Revisão de Literatura

1.1. Criptomoedas

O conceito de criptomoedas surge com a projeção da Bitcoin, por Satoshi Nakamoto, e as razões que impulsionaram a sua criação foram o desencadeamento da crise financeira de 2008, que levou à queda do banco de investimentos Lehman Brothers. Ou seja, impulsionada por um sistema financeiro instável, sem qualquer privacidade financeira e com forte intervenção estatal (Ulrich 2017). Os princípios por detrás da criação das criptomoedas giram em torno de segurança, privacidade e de um sistema financeiro onde os agentes não tenham de confiar nos bancos. Ao contrário das moedas tradicionais, as moedas digitais são meios de troca independentes dos bancos centrais e das fronteiras (Maese et al., 2016).

Apesar da revolucionária criação da Bitcoin se ter dado em 2008 com o artigo de Satoshi Nakamoto, já anteriormente se tinha referido a possibilidade do surgimento de dinheiro digital e descentralizado. Dai W. em 1998 propôs no seu artigo "*B-Money - an anonymous, distributed electronic cash system*" a criação da moeda digital "b-money". Porém, esta moeda apresentou falhas relativamente à duplicação de gastos, pois, quando se realizavam duas transações em simultâneo, o dinheiro era duplicado. A proposta foi rapidamente descartada, uma vez que o autor não foi capaz de apresentar soluções claras para os problemas.

A solução apareceu em 2008, por Satoshi Nakamoto, com a criação da primeira criptomoeda viável. Nakamoto (2009) define ainda uma moeda virtual como uma corrente de assinaturas digitais, nas quais dois intervenientes transferem diversos montantes por meio da validação de duas chaves criptografadas, uma pública e outra privada.

De acordo com o Banco Central Europeu (BCE), as criptomoedas nada mais são do que uma moeda virtual. Dinheiro digital que pode ou não ser utilizado como meio de pagamento, gerado e armazenado eletronicamente. Ao contrário de moedas oficiais, atualmente não há criptomoedas regulamentadas por nenhuma autoridade pública central. Assim, define-se a criptomoeda como "moeda digital, emitida e controlada por desenvolvedores privados, usada e aceite por vários elementos de uma comunidade específica" (BCE, 2015).

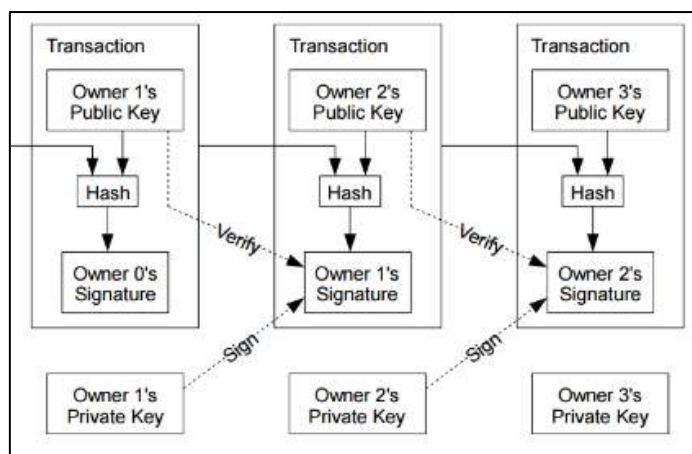
Embora não exista nenhuma autoridade pública central, a lógica das criptomoedas é a mesma do dinheiro em espécie, onde a sua principal função é permitir transações de compra e venda de bens e serviços. A prova são empresas como a Microsoft, a Dell e a Wikipédia, cujos pagamentos já podem ser feitos em BTC.

Inerente ao conceito de criptomoeda está o conceito de *blockchain*. Segundo Nakamoto (2009), o que viabilizou a criação da criptomoeda foi a concessão da tecnologia *blockchain*. *Blockchain* é um protocolo de segurança projetado para aumentar a segurança das criptomoedas através da descentralização das mesmas. Funciona como uma rede de blocos encadeados muito seguros e carregados com um conteúdo junto a uma impressão digital. O seu funcionamento é parecido com um livro de contabilidade, no qual todos os acontecimentos ocorridos são armazenados, garantindo a genuinidade dos dados introduzidos e a grande dificuldade de vulnerabilidade a alterações. Os blocos são encadeados e, sempre que é realizada uma transferência, as informações contidas nos blocos identificam a carteira de origem e o destino da mesma, bem como o valor da transação. O facto das criptomoedas serem baseadas numa estrutura descentralizada torna-as praticamente imutáveis e, ao contrário das moedas *fiat*, a sua falsificação é muito menor (Crosby et al., 2016).

Autores como Böhme et al., (2015); Ciaian et al., (2016) e Nian & Chuen, (2015) defendem o potencial valor desta tecnologia inovadora e acreditam que é através da mesma que moedas digitais serão capazes de revolucionar os sistemas de transações. Também acreditam que futuramente a tecnologia *blockchain* poderá ser bastante útil em diversos outros segmentos.

Na figura 1, abaixo apresentada, observa-se como é o processo de transação entre blocos.

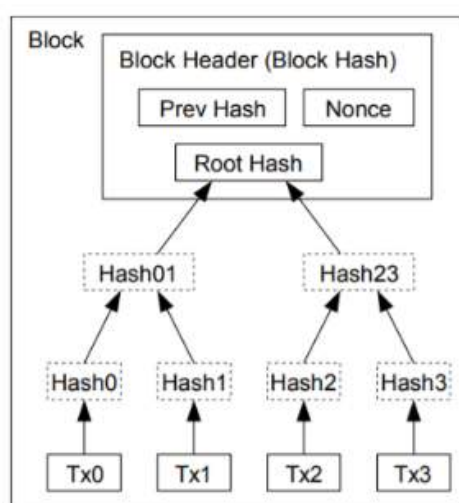
Figura 1 - Transações entre Blocos na Blockchain



Retirado de: Nakamoto (2009)

Hash em português é o que se chama “chave de bloco”. O *hash* de um determinado bloco é o que dá acesso aos seus dados estruturais, mas também ao seu conteúdo, permitindo efetuar transações entre blocos. Observando a figura 1, verifica-se a existência de uma cadeia cronológica. Esta cadeia cronológica dá-se devido à interconexão do *hash* embutido em cada bloco numa *blockchain* (Nakamoto, 2009; Nakamoto, 2019). As *hashes* funcionam graças a uma série de caracteres agrupados provenientes de processos matemáticos complexos e cujo objetivo principal é codificar dados para formar um algoritmo exclusivo (Zhang et al., 2017).

Figura 2 - Transações Hashed num único Bloco



Retirado de: Nakamoto (2009)

Estudos empíricos demonstram que cada vez mais os modelos eletrônicos utilizam o modo de transações ponta-a-ponto da *blockchain* (Su et al., 2020b). Da mesma forma, as tecnologias de *blockchain* são capazes de otimizar o sistema bancário, facilitando a elaboração de contratos, transferências de dinheiro e registros eletrônicos (Peters e Panayi, 2016).

Segundo Nian & Chuen (2015), uma das principais vantagens da moeda digital é a liberdade para realizar transações. A liberdade deve-se à ausência de uma autoridade central responsável por validar as mesmas, o que possibilita transacionar instantaneamente qualquer montante de dinheiro, independentemente do destino ou quantidade.

Como Brito & Castillo (2013) refere, as taxas aplicadas às transações são muito baixas ou, por vezes, inexistentes. O custo das transações Bitcoin pode variar entre 0 e 1%. No entanto, o utilizador pode optar por pagar um acréscimo baixo à taxa de transação, de modo a acelerar o processo. Estas características tornam a BTC uma ótima solução para lidar com taxas de câmbio, dado que, por ser uma moeda global, sem fronteiras, contorna as mesmas.

Não são inflacionadas. Na grande maioria das criptomoedas, o número máximo de moedas é limitado e, como não existem forças políticas nem corporações capazes de mudar isso, não há inflação no sistema.

Transações *online* mais seguras. A maioria das transações são feitas através de cartões de crédito e estes, por vezes, não são totalmente seguros. Sempre que é realizada uma compra *online* através do cartão de crédito, é necessário preencher formulários com o número de cartão, data de validade e o código de segurança. Com a carteira de criptomoedas, o proprietário tem uma chave privada e uma pública correspondente. Ninguém, exceto o proprietário, pode efetuar transações.

O anonimato das transações. É difícil saber quem realizou uma determinada transação e quem foi o destinatário. Isto deve-se à tecnologia *blockchain* que permite ao utilizador realizar transações através de chaves digitais, aumentando a confidencialidade ao contrário dos meios de pagamentos convencionais.

Vistas como ativo de investimento. Como outras moedas, as criptomoedas também flutuam em valor, porém são menos estáveis do que as moedas convencionais. Enquanto uns

veem essa volatilidade como desvantagem para quem aceita criptomoedas como meio de pagamento, há investidores que veem potencial. Para além de permitir ao investidor uma maior diversificação de portfólio, face à enorme possibilidade de criptomoedas que pode ter em carteira, a volatilidade pode tornar-se positiva e rentável. Um utilizador ao aceitar a criptomoeda e esperar para trocá-la posteriormente, poderá ver o valor da sua carteira aumentar.

Uma das desvantagens apontadas às criptomoedas é o nível de proteção de utilizadores. Uma vez que as criptomoedas não são reguladas nem controladas por nenhuma autoridade pública central, os utilizadores não dispõem de qualquer proteção legal em caso de falhas técnicas ou problemas de segurança. A falta de legislação e regulamentação eleva os riscos associados ao utilizador.

Má reputação. Existe um grande preconceito em volta das criptomoedas devido aos *media*. Recorrentemente surgem notícias onde as particularidades das criptomoedas são utilizadas para fins não legais, provocando uma opinião mais negativa junto da comunidade.

A elevada volatilidade do preço. Segundo BCE (2015), uma moeda é uma reserva de valor fiável, constituindo assim segurança aos seus utilizadores, pois, através dessa estabilidade, o poder de compra de um utilizador manter-se-á, em teoria, o mesmo hoje, amanhã e daqui a um ano. Uma das desvantagens apontadas à criptomoeda é mesmo essa falta de estabilidade de preço, porque o que pode representar um grande rendimento, também pode representar uma enorme perda de valor. A moeda digital pode estar a salvo de taxas, regulamentação e inflação, no entanto responde a uma demanda de procura e oferta, o que pode levar a aumentos e diminuições inesperadas do valor da mesma, tanto a curto como a longo prazo (Ciaian et al., 2016).

1.1.1. As Principais Criptomoedas

Uma vez que a BTC foi a pioneira, são várias as moedas que surgem com o objetivo de melhorar os pontos fortes da moeda e suprimir os pontos mais negativos.

Segundo a plataforma *coinmarketcap.com*, referência no segmento de mercado de criptomoedas e que conta com, aproximadamente, seis mil diferentes tipos de moedas, todas as

criptomoedas apresentam a mesma característica principal - transacionar moeda -, mas todas procuram oferecer um serviço diferente, que pode variar entre velocidade de transação, taxas e anonimato.

Nas seis mil moedas virtuais que existem, são várias aquelas que se diferenciam a nível de objetivos e tecnologia utilizada, deste modo, as cinco criptomoedas com maior destaque e capitalização de mercado são (a) Bitcoin (BTC), (b) Ethereum (ETH), (c) Tether (USDT), (d) Binance Coin (BNB) e (e) Cardano (ADA).

a) Bitcoin

A Bitcoin é uma criptomoeda descentralizada, criada por Satoshi Nakamoto em 2008. É considerada a primeira moeda digital e, atualmente, a mais forte. Assenta na tecnologia *blockchain*, onde cada bloco disponível em rede demora 10 minutos a ser minerado, totalizando 21 milhões de moedas no mercado. Este número é limitado e nunca ultrapassado.

b) Ethereum

A Ethereum é uma *blockchain* descentralizada e *open-source* que possui a sua própria criptomoeda. Foi criada por Vitalik Buterin em 2013, tendo sido lançada oficialmente em 2015, através de um projeto de *crowdfunding*.

A Ethereum veio com o objetivo de remover terceiros das transações, efetuar transações mais rápidas, servir de plataforma para várias outras criptomoedas, executar smart contracts descentralizados e permitir que usuários de todo o mundo executem softwares que sejam resistentes à censura e à fraude. Ao contrário da Bitcoin, não possui um número limite de capitalização de mercado.

c) Tether

A Tether é uma criptomoeda lançada em 2014 e utiliza a tecnologia *Blockchain* da Ethereum. Visa espelhar o dólar americano e a ideia que está na sua base é que seja uma *stable coin*, uma criptomoeda estável, tal como o dólar.

Dado que cada moeda de Tether é atrelado a um dólar, a criptomoeda, ao contrário das demais, está protegida da grande volatilidade e instabilidade do mercado criptográfico. O limite máximo de oferta em mercado é de 77 926 851 088 moedas.

d) Binance Coin

A BNB é uma criptomoeda lançada em 2017 e executada na rede Ethereum. Surgiu graças a uma das principais corretoras, a Binance, e a sua utilização tem como objetivo facilitar os pagamentos e transações dentro da própria corretora. O limite máximo de oferta em mercado é de 165 116 760 moedas.

e) Cardano

A Cardano surgiu em 2017, através de Charles Hoskinson, um dos cofundadores da rede Ethereum. A moeda ADA é projetado com o objetivo de garantir aos seus proprietários direitos de voto na rede, tal como a Ethereum visa permitir aplicativos descentralizados, *smart contracts*, computação multipartida e metadados. O limite máximo de oferta em mercado é de 33 592 658 049 moedas.

1.2. Gestão de Carteiras

Carteira de investimentos ou portfólio de investimentos consiste num grupo de ativos reunidos pertencentes a um investidor. Este conjunto de ativos, que compõem a carteira de investimentos, atribuem ao portfólio um nível de risco e retorno esperado. Segundo Lofthouse (2001), ao elaborar uma carteira deve-se considerar um conjunto de fatores, entre eles, os

objetivos do investimento, as classes dos ativos a investir e os ativos dentro dessas classes. Devem ainda ser consideradas a estratégia de alocação e as posições de compra e venda.

Um investidor cauteloso não deve confiar o seu dinheiro em apenas um único ativo e deve optar por uma carteira, permitindo a diversificação de ativos que pode, por vezes, atribuir um menor risco ao investimento.

As questões de diversificação, no mercado financeiro, têm sido o foco de muitos problemas e ao longo do tempo foram-se desenvolvendo um conjunto de teorias.

Segundo Santos (2010), existem dois tipos de riscos que afetam uma carteira de investimentos: o risco diversificável e o não diversificável. O risco não diversificável é também conhecido como risco sistémico e é aquele que não afeta apenas um ativo em particular. É inerente ao mercado como um todo ou a um segmento de mercado específico. Já os riscos diversificáveis são os riscos específicos dos ativos e que podem ser minimizados através da otimização de portfólio. Segundo Boyd et al., (2017), a otimização de carteira é o processo de alocação de ativos que potencializam ou reduzem algum resultado.

Markowitz (1952) revolucionou este tema através da elaboração de um modelo de seleção de carteiras, cujo objetivo é determinar a carteira mais adequada a cada investidor, face ao seu perfil de risco e rentabilidade, em consequência da elaboração de uma carteira de investimentos otimizada. Segundo Markowitz (1959), quando um investidor se apropria de uma carteira constituída por diversos ativos, diversificação de ativos em carteira, é possível reduzir o risco inerente a essa carteira sem sacrificar a rentabilidade esperada. Assim, a constituição de uma carteira com mais do que um ativo traz um maior benefício para o investidor.

Allen e Gale (1994) acrescentam ainda que as inovações financeiras facilitam a minimização do risco das carteiras por proporcionarem melhores recursos de diversificação. Esta visão é igualmente apoiada por Symitsi e Chalvatzis (2019), que concluíram no seu estudo que a inclusão da Bitcoin numa carteira com diversas classes de ativos fornece benefícios estatísticos significativos quanto ao mesmo. Em contrapartida, Yürük et al. (2017) argumenta que, devido à negociação especulativa e à constante inovação dos instrumentos de negociação, a inclusão de um ativo criptográfico em carteira aumenta o risco de não rendimento.

Volatilidade consiste numa medida estatística que aponta a intensidade das oscilações no preço de um ativo e a sua frequência, num determinado intervalo de tempo. Esta medida permite que o investidor estude melhor o investimento que pretende e forme uma expectativa perante o futuro. Assim, é possível entender o ativo, bem como o próprio mercado e até mensurar os riscos que está a correr. Quanto maior for a oscilação do preço de um ativo, maior é a sua volatilidade (Malladi & Dheeriy, 2021).

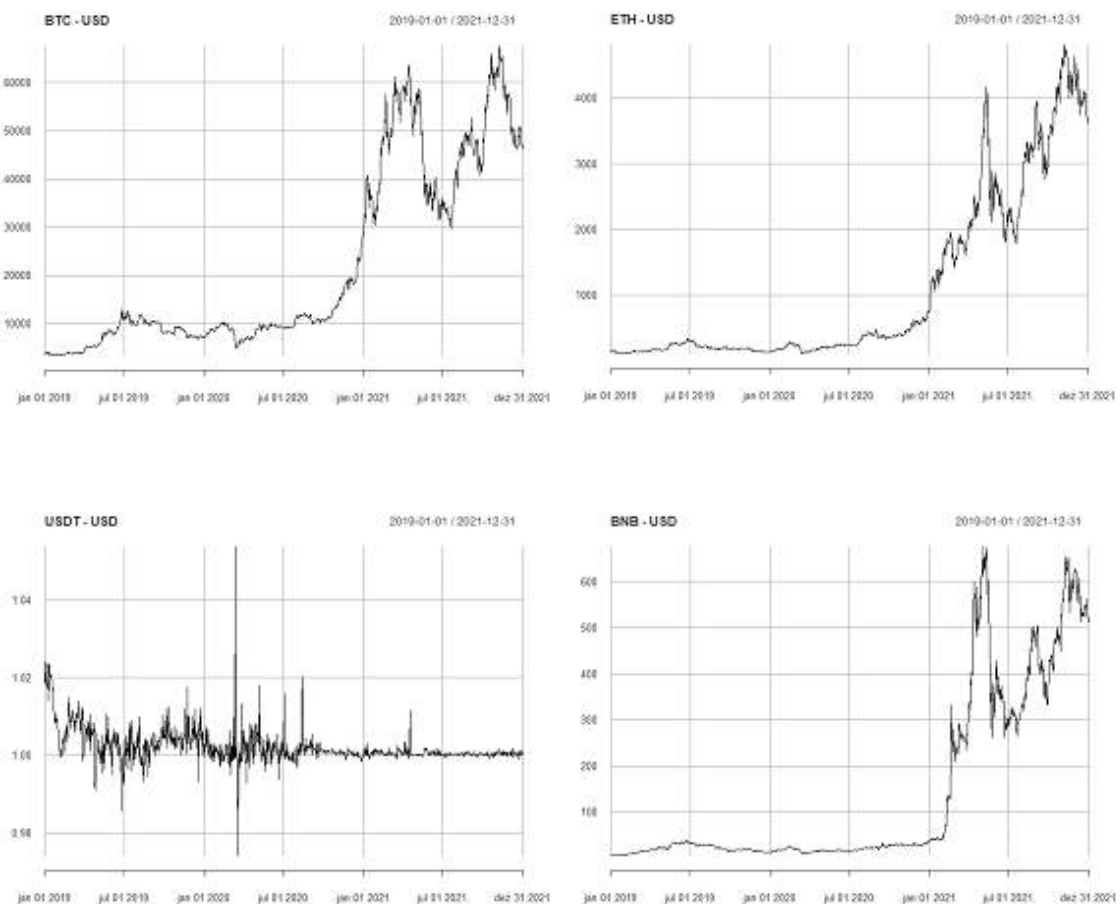
A volatilidade é uma grande aliada dos especuladores e as oscilações nos preços ajudam o investidor a obter mais ganhos a curto prazo. A utilização de ativos mais voláteis em carteiras de investimentos pode ser uma estratégia pertinente para um certo perfil de investidores, deste modo as criptomoedas são um ativo particularmente útil para estratégias que exigem retornos mais elevados, visto que proporcionam mais ganhos e não desempenham um papel ativo na minimização da variância.

A volatilidade das criptomoedas é bastante mais elevada do que das moedas *fiat*, de tal modo que a utilização em meios de pagamento da criptomoeda Bitcoin é posta em causa devido à sua elevada oscilação de preço. A grande oscilação de preço complica o uso da mesma como reserva de valor e unidade de conta, o que faz com que alguns autores não a considerem uma moeda (Gangwal & Longin, 2018). Todavia, Brito & Castillo (2013) acreditam que há possibilidade de redução de volatilidade nas criptomoedas devido à criação de expectativas realistas das pessoas através da familiarização com a tecnologia *blockchain*.

Capítulo II – Dados, Variáveis e Metodologia

2.1. Dados e Variáveis

Este estudo tem como principal objetivo perceber a inter-relação entre as principais criptomoedas do mercado, nomeadamente a BTC, ETH, USDT, BNB e ADA. Os dados sobre as cotações das diferentes criptomoedas foram obtidos através do RStudio, que por sua vez recorreu à base de dados do Yahoo Finance. A amostra é composta por 1096 observações diárias, para um período de 3 anos, composto entre 1 de janeiro de 2019 a 31 de dezembro de 2021. As variáveis consideradas foram os preços diários ajustados para a BTC, ETH, USDT, BNB e ADA.



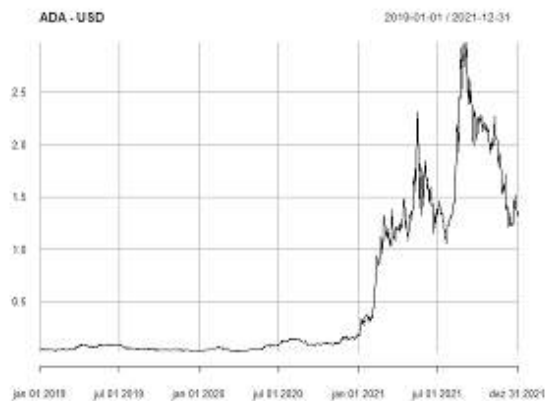


Figura 3 - Séries Temporais

2.2. Metodologia

2.2.1. Modelo VAR

O modelo a utilizar é o modelo vetor autorregressivo e a sua apresentação e construção é essencial a toda a análise. O modelo vetor autorregressivo (VAR) foi introduzido por Sims (1980) no artigo: “Macroeconomics and Reality”, no qual analisa a previsão da taxa de crescimento real da economia. Face às restrições obtidas nos modelos estruturais da época e a uma crescente necessidade de se desenvolver um modelo com menos restrições, este foi desenvolvido como um modelo dinâmico em que todas as variáveis a serem estudadas são tratadas como variáveis endógenas. Assim, o modelo VAR examina as relações lineares existentes entre cada variável endógena e os valores históricos das mesmas.

Segundo Andrade (2004), o modelo VAR é um sistema de equações simultâneas que permite perceber o comportamento passado de um determinado conjunto de variáveis. Possibilita conhecer a dinâmica do comportamento, identifica como os comportamentos inesperados podem afetar a função linear e percebe as relações de interdependência entre as variáveis, de modo a avaliar o impacto estocástico sobre uma determinada variável do sistema. Este modelo, ao contrário do modelo de autorregressão de uma só variável, não depende unicamente dos seus valores anteriores. Este modelo é utilizado pelo Banco Central, bem como por outros grandes bancos internacionais, como instrumento de previsão.

Sejam Y_1, Y_2, \dots, Y_k séries temporais multivariadas, com $Y_t = (Y_{1t}, \dots, Y_{kt})'$ composta por k componentes no período t . A expressão matemática do modelo VAR de ordem p é expressa da seguinte forma:

$$Y_t = A_0 + A_1 Y_{t-1} + \dots + A_p Y_{t-p} + u_t$$

onde A_0 é um vetor de termos independentes, A_1, \dots, A_p são matrizes de coeficientes, " p " é o número de defasamentos considerado no modelo e $u_t = (u_{1t}, \dots, u_{kt})'$ é um vetor de perturbações aleatórias independentes e identicamente distribuídos com média 0 e matriz de covariância.

Para a seleção do número ideal de defasamentos teve-se como base os critérios estatísticos de Akaike (1974), Schwarz (1978), Hannan & Quinn (1979) e o Erro de previsão final (FPE). É de notar que o facto de existirem 4 ordens de defasamentos sugeridos pelos critérios, não quer isto dizer que os 4 critérios possam estar de acordo, deste modo assumiu-se o número máximo de defasamentos envolvidos entre eles, de forma a evitar restrições falsas sobre o modelo.

2.2.2. Causalidade à Granger

Um dos testes mais importantes a verificar é o teste de causalidade. Em termos econométricos, a causalidade é verificada quando a presença de uma determinada variável contribui para a previsão de outra variável. Para tal, foi realizado o teste de causalidade à Granger para todas as variáveis, de modo a verificar a presença de causalidade.

2.2.3. Função Impulso Resposta

Segundo o autor Hamilton (1994), é comum, no cenário dos mercados financeiros, os investigadores estarem interessados em conhecer a resposta de uma variável a um impulso de outra variável, pois, por si só, a causalidade de Granger não revela completamente as interações entre as variáveis num ambiente VAR. Uma vez modelado o VAR, é possível calcular as funções de impulso resposta, que permite observar as respostas de uma determinada criptomoeda em função de um impulso de outra.

2.2.4. Decomposição de Variância

Para o autor Diebold (1998), a função de resposta impulso é suficiente, visto que a informação retirada da decomposição de variância será a mesma do que a função de resposta impulso, porém representadas graficamente de maneira diferente. Já segundo Zivot & Wang (2006), a decomposição de variância é outra forma de analisar os efeitos dos choques exógenos, permitindo obter a percentagem de cada variável, que pode ser explicada por cada choque.

Em econometria, a decomposição de variância ajuda na interpretação de um modelo VAR. Esta indica a quantidade de informação que cada variável injeta nas demais variáveis da autorregressão.

Capítulo III – Análise de Resultados

3.1. Estimação Modelo VAR

O modelo VAR é o modelo mais adequado para se analisar a variação dos valores de uma série temporal usando valores de outra série temporal. Permite perceber quando há uma alteração no preço de uma criptomoeda e qual o motivo da sua variação.

Uma vez os dados integrados no *software*, foram aplicados os critérios de seleção de ordem de defasamentos VAR para selecionar o número ótimo de defasamentos (Braun & Mittnik, 1993).

	AIC (n)	HQ (n)	SC (n)	FPE (n)
Defasamentos	29	1	1	29

Tabela 1 - Critérios de Seleção VAR

Segundo a tabela 1, o critério FPE e o critério AIC suportam 29 defasamentos, enquanto o critério SC e o critério HQ apenas 1. Uma vez que não existe consenso de qual o melhor critério a aplicar, e de modo a evitar falsas restrições sobre o modelo, as análises adicionais foram baseadas em critérios de duração de 29 defasamentos.

3.2. Causalidade à Granger

Em termos econométricos, o efeito de causalidade é verificado quando a presença de uma determinada variável contribui para a previsão de outra variável. Considerando os *outputs* da tabela 2, observa-se para cada variável a relação de causalidade à Granger para com as restantes variáveis em estudo. Sempre que *p-value* seja inferior a 5%, rejeita-se a hipótese nula de não haver causalidade à Granger.

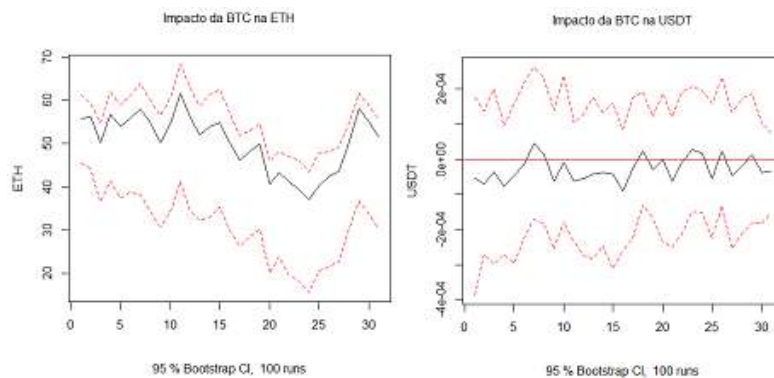
<i>P-Value</i>					
	BTC	ETH	USDT	BNB	ADA
BTC		3,71E-09	1	1,93E-10	2,86E-05
ETH	2,20E-16		1	7,04E-07	2,20E-16
USDT	0,9999	1		1	1
BNB	1,33E-13	1,27E-10	1		1,24E-11
ADA	1,74E-08	2,20E-16	1	8,40E-11	

Tabela 2 - Causalidade à Granger

Analisando a tabela 2, verifica-se que existem diversas relações de causalidade entre as variáveis em estudo. O caso mais distinto foi o da criptomoeda USDT, onde obteve um *p-value* acima dos 5% para todas as outras variáveis. Deste modo, parte-se do pressuposto que a USDT não causa à Granger nas restantes criptomoedas.

3.3. Análise Funções Impulso Resposta

A base de dados utilizada nas funções impulso resposta tem frequência diária, desta forma os períodos dos gráficos abaixo apresentados correspondem a 29 dias. Cada análise das funções impulso resposta é realizada tendo em conta os impulsos e repostas para cada uma das cinco variáveis do modelo no modelo VAR.



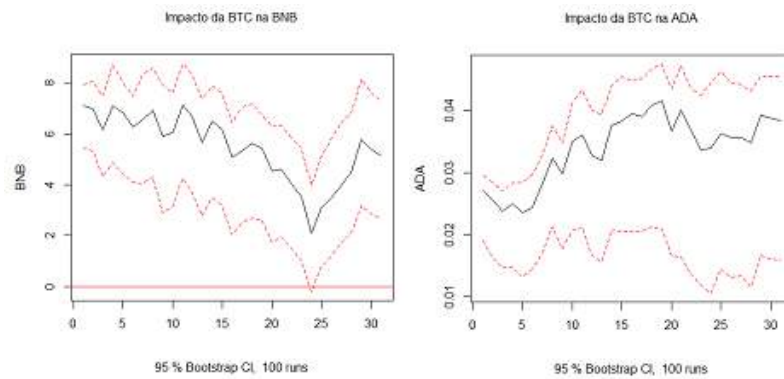
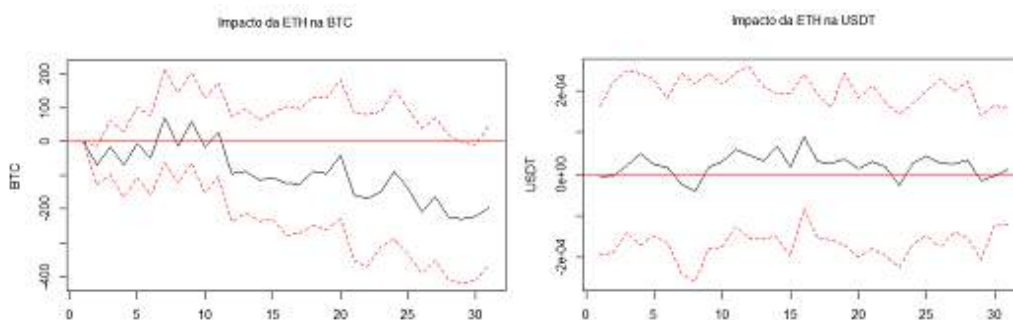


Figura 4 - Função Impulso Resposta com impulso em BTC

Analisando os gráficos apresentados, constata-se que as respostas das variáveis a um impulso na variável BTC variam entre positivo, nulo. No caso da variável ETH, esta responde positivamente, sendo este choque mais pronunciado e com tendência a aumentar conforme aumenta o período em análise. Já a variável USDT ao mesmo impulso não é estatisticamente significativa, pois zero está incluído no intervalo de confiança, sendo que este corresponde às linhas vermelhas a tracejado. No caso da resposta da variável BNB ao impulso da BTC, esta é positiva e manteve-se relativamente constante ao longo do período em análise. Em contrapartida, o choque é muito menos pronunciado do que a resposta da ETH. A variável ADA responde positivamente em semelhança com a ETH e BNB, no entanto de uma forma mais reduzida. Esta varia ainda com o período em análise e tem tendência a aumentar.



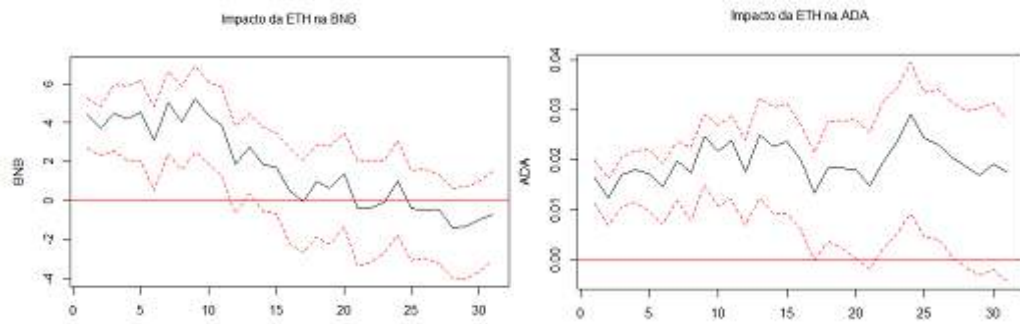


Figura 5 - Função Impulso Resposta com impulso em ETH

Na análise dos gráficos da função impulso resposta com impulso na ETH, verifica-se que, na maioria do período, a variável BTC não demonstra uma resposta estatisticamente significativa, uma vez que zero está incluído no intervalo de confiança. Conforme o período em análise vai-se aproximando dos 29 dias, já se observa uma influência negativa da ETH. Em semelhança, a USDT não responde a um impulso na ETH, pois zero continua no intervalo de confiança e assim se manteve em todo o período. Quanto à BNB, a resposta é positiva com tendência a diminuir durante o período em análise e este valor passa mesmo a ser negativo quando atingidos os 20 dias. A moeda ADA foi aquela que apresentou uma maior constância no período em análise, mantendo-se sempre positiva.

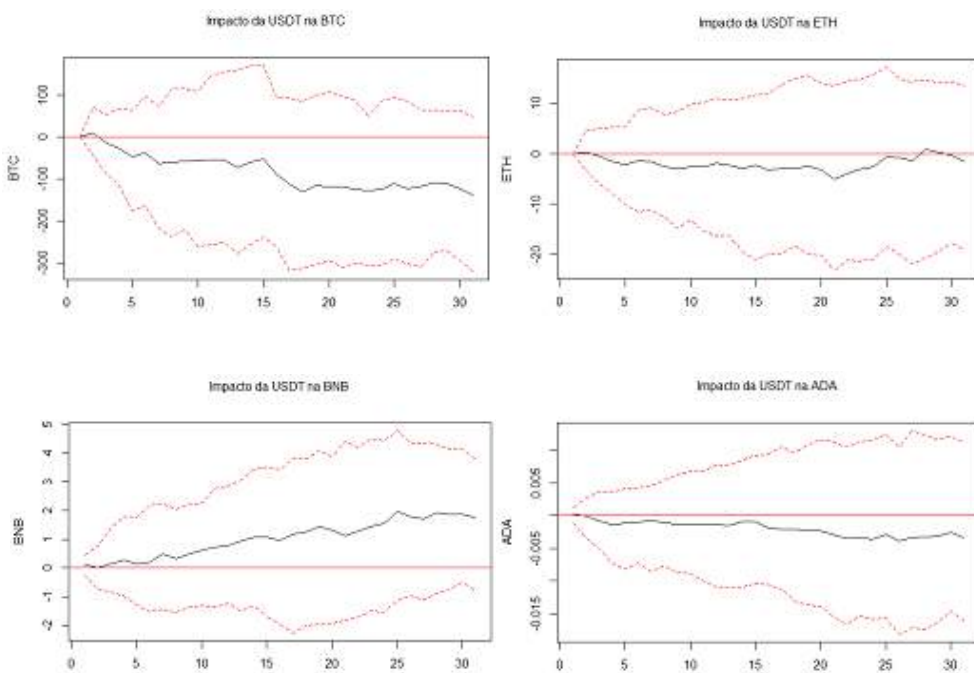


Figura 6 - Função Impulso Resposta com impulso em USDT

Relativamente ao impulso na USDT, através dos gráficos e de uma forma bastante sintetizada, observa-se que o impulso na USDT não é estatisticamente significativo em nenhuma outra criptomoeda. Isto é, tanto a BTC, como a ETH, BNB e ADA não reportaram choques ao impulso causado na USDT. Isto deve-se sobretudo às características e objetivos desta criptomoeda.

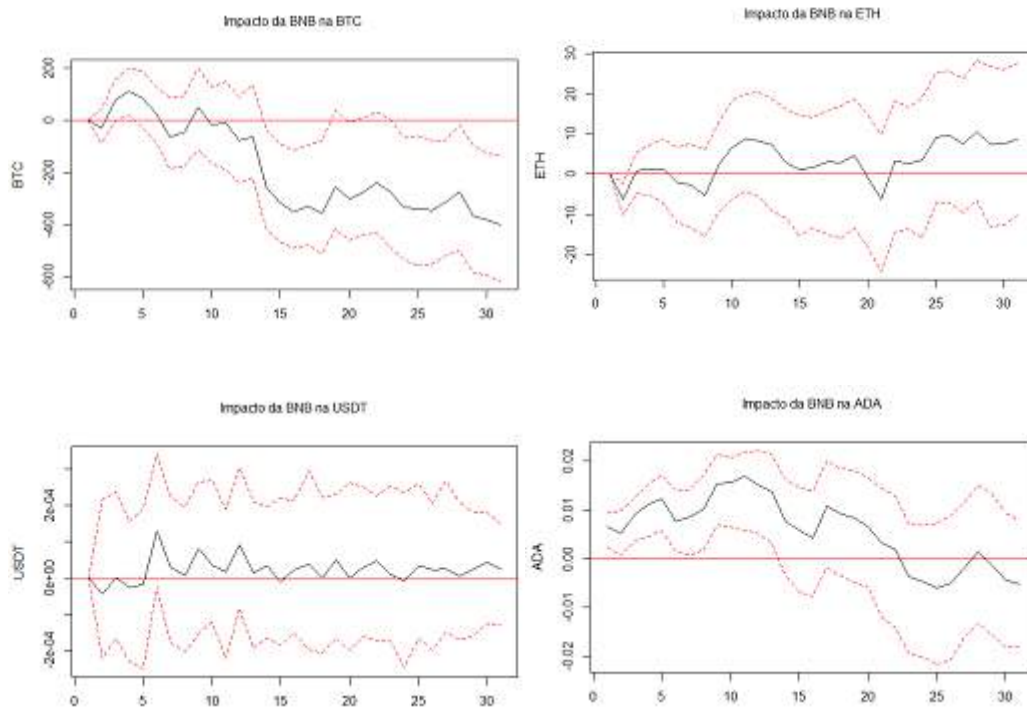


Figura 7 - Função Impulso Resposta com impulso em BNB

Observando os gráficos relativos à função impulso resposta com impulso na BNB, verifica-se que, relativamente à resposta da BTC, a criptomoeda BNB não é estatisticamente significativa na maioria do período. Conforme o período se aproxima dos 29 dias, já se observa um impacto negativo na moeda. Relativamente à ETH, este impulso não é significativo durante todo o período e o mesmo acontece para a USDT. Analisando a resposta da ADA ao mesmo impulso, verifica-se uma resposta positiva até um certo período, passando mesmo a ser negativa.

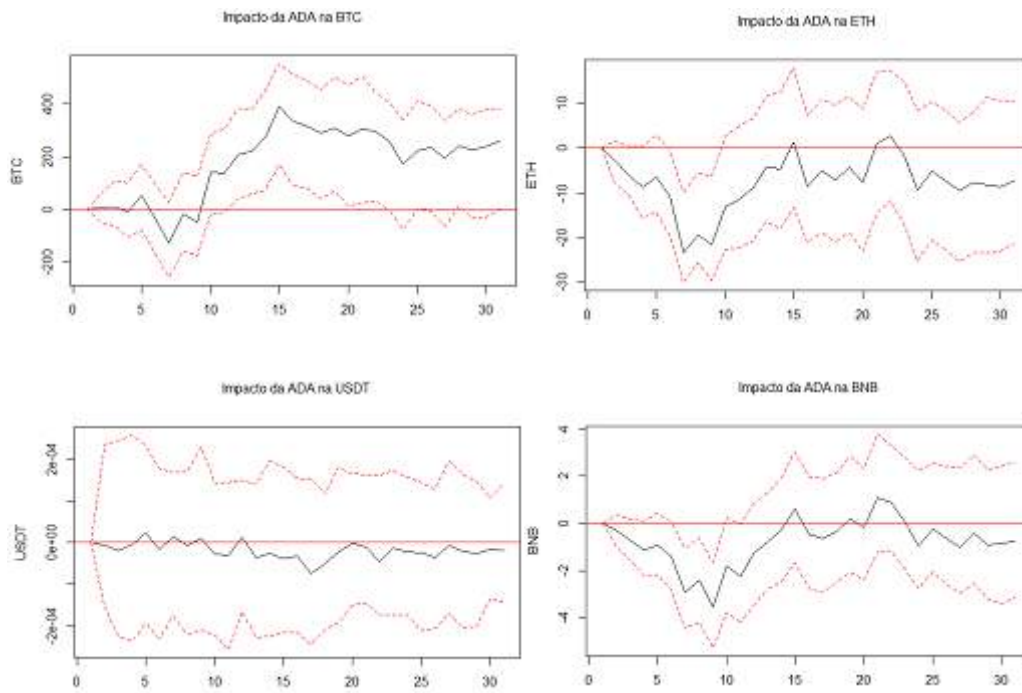


Figura 8 - Função Impulso Resposta com impulso em ADA

Por fim, observa-se a mesma função impulso resposta com impulso na ADA. De forma bastante sintetizada, mais uma vez, verifica-se que a ADA tem impacto positivo na BTC e impacto negativo na ETH. Esta é estatisticamente não significante para a USDT durante todo o período em análise e tem uma influência negativa, reduzida, na BNB.

3.4. Análise Decomposição de Variância

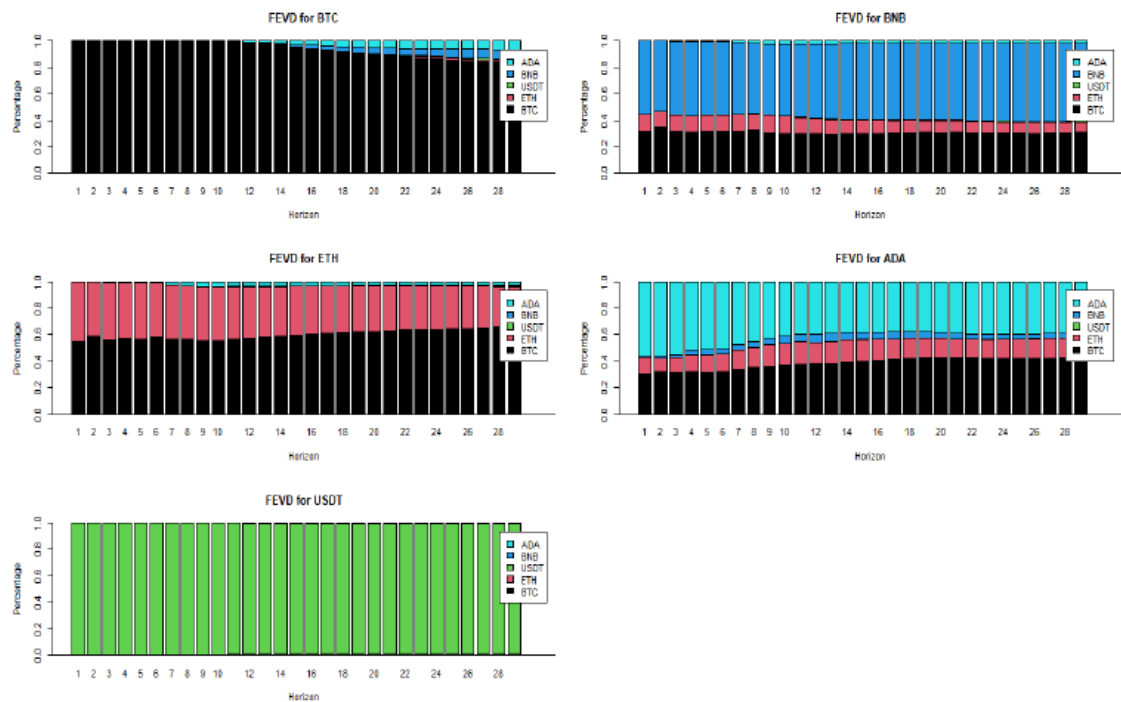


Figura 9 - Decomposição da Variância do erro de Previsão

Na figura 9 é representada a função da decomposição da variância do erro de previsão (FEVD) do modelo VAR estimado. Graficamente, no eixo vertical, é indicada a percentagem da variância explicada pelos diferentes choques e no eixo horizontal o período em análise. Nas barras, a percentagem de cada moeda está por cores e a soma não é necessariamente 100%, visto que existem elementos não zero.

Através da análise do gráfico “FEVD BTC”, verifica-se que a BTC, na sua grande maioria, é explicada por si mesma. A percentagem varia de 100% a 80% conforme vamos chegando aos 29 dias. As moedas ADA e BNB interferem, ao fim de 15 dias, em percentagens equivalentes. Quanto à “FEVD ETH”, verifica-se que os choques da BTC explicam quase 50% das flutuações da ETH e esta percentagem tende a aumentar ao longo do período. A ADA também aparece graficamente representada e ajuda a explicar a ETH, porém numa proporção quase mínima. Segundo “FEVD USDT”, choques em BTC, ETH, BNB e ADA não afetam de alguma forma a USDT, comprovando-se a conclusão retirada das funções impulso resposta, onde a USDT não é explicada

por nenhuma outra criptomoeda em análise. O gráfico “FEVD BNB” demonstra que 30% das flutuações da BNB são explicadas sobretudo pela BTC e 5% a 10% pela Ethereum, sendo o restante explicado por si mesmo. Segundo o gráfico “FEVD ADA”, a criptomoeda ADA é explicada na sua maioria pela BTC, onde um choque na BTC interfere 30% a 40% do seu preço e na ETH numa percentagem abaixo dos 10%. Verifica-se ainda a influência bastante reduzida da BNB.

3.5. Análise dos resultados

Apesar das criptomoedas ganharem cada vez mais notoriedade, elas são essencialmente consideradas como um investimento alternativo. Além disso, o facto da sua utilização para pagamentos ser ainda limitada, faz com que exista uma perceção de mercado que as criptomoedas são o espelho da Bitcoin.

Nestes resultados é evidente que um choque numa criptomoeda gera flutuações nas cotações de outras criptomoedas, sendo que a Bitcoin demonstrou ser a que mais influencia. Sempre que provocado um choque na BTC, moedas como ETH, BNB e ADA reagem no mesmo sentido e, quando o choque é replicado na ETH, BNB e ADA, o impacto na BTC não é significativo. Estas observações devem-se sobretudo ao facto da Bitcoin ser a criptomoeda com maior valor de mercado e, subsequentemente, com maior capitalização de mercado.

Relativamente às ETH, BNB e ADA, os gráficos demonstram correlações, positivas e negativas, entre si, não obstante continua a ser evidente na decomposição de variância a majoritária participação da BTC. O caso mais notório foi na ETH, onde a BTC ajuda a explicar as flutuações da cotação da mesma em 50%. O que se torna um grande risco para um investidor que tenha os dois ativos conjugados em carteira. A segunda maior participação reportada é em ADA, onde se observa uma explicação próxima de 10% da ETH. Essa participação pode ser explicada pelo facto da ADA pertencer à rede de *smart contracts* da Ethereum.

É ainda de notar que a USDT não está correlacionada com nenhuma criptomoeda e, desta forma, o risco para o investidor é baixo, o único senão é que é uma *stablecoin* e os retornos são muito reduzidos. O facto da USDT não estar correlacionada com nenhuma outra criptomoeda, deve-se ao facto da USDT visar espelhar o dólar americano.

Capítulo IV – Conclusões Finais

A presente dissertação teve como objeto de estudo as cinco principais criptomoedas com maior capitalização de mercado - BTC, ETH, USDT, BNB e ADA. Ainda na revisão de literatura, concluiu-se que as criptomoedas são moedas eletrônicas, consideradas um ativo de investimento, podendo ser armazenadas e utilizadas como um meio de pagamento. Entre as suas características estão a rapidez, os baixos custos de transação e a não inflação. Consideram-se ainda a grande volatilidade do preço, a irreversibilidade de uma transação e o anonimato. O anonimato faz delas um ativo com má reputação associada a um grande preconceito, uma vez que são moedas muito utilizadas para fins ilegais. A má reputação advém também do fato de existirem ainda poucos estudos acadêmicos, mantendo soterrado o papel que efetivamente estas moedas desempenham.

O principal objetivo desta dissertação resume-se a compreender a origem das criptomoedas, as suas principais características e investigar a sua inter-relação de modo a estudar a influência que teria numa carteira de investimentos. A fim de atingir esses objetivos, foi coletada uma amostra de 1096 observações diárias, no período de 1 de janeiro de 2019 a 31 de dezembro de 2021, das cotações diárias das mesmas. Para atingir esse objetivo, foi modelado um modelo VAR. Este tipo de metodologia permite compreender as relações lineares de um determinado conjunto de variáveis, considerando-as todas endógenas e os seus valores desfasados. Foi também realizado o teste de causalidade de Granger, de modo a identificar a presença de causa entre variáveis, funções de impulso resposta e decomposição de variância.

Ao analisar os dados das funções de impulso resposta e decomposição de variância, destacam-se os impactos da BTC nas outras variáveis endógenas e os impactos das outras variáveis endógenas na BTC. Quando a BTC sofre um choque, o impacto nas restantes variáveis endógenas é muito significativo, no entanto, quando existe um choque numa das variáveis endógenas, o impacto na BTC não é significativo. Isto prova o porquê de nos mercados criptográficos existir a percepção de que as outras criptomoedas espelham a Bitcoin. Quando analisada ao pormenor a reação de cada criptomoeda, observa-se que existe correlação entre cada uma delas, com exceção da USDT que não está correlacionada com nenhuma das criptomoedas em estudo.

O investimento em criptomoedas pode ser benéfico para aqueles investidores que gostam de arriscar e beneficiar de grandes volatilidades de forma a maximizar retornos, porém é um risco para o investidor conjugar, principalmente a BTC, ETH, BNB e ADA, na mesma carteira. Isto porque encontram-se correlacionadas e uma variação, positiva ou negativa, originará uma resposta noutra moeda. Em contrapartida, a USDT não está correlacionada com nenhuma criptomoeda e, desta forma, o risco para o investidor é baixo, em contrapartida é caracterizada com uma *stablecoin* e os retornos são muito reduzidos.

Referências Bibliográficas

- Allen, F., & Gale, D. (1994). *Financial innovation and risk sharing*. MIT press.
- Allen, F., & Gale, D. (2001). *Comparing financial systems*. MIT press.
- Andrade, J. S. (2004). Apontamentos de econometria aplicada. *Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra*.
- Bank, E. C. (2015). *Virtual currency schemes—a further analysis*. European Central Bank, Frankfurt.
- Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, technology, and governance. *Journal of economic Perspectives*, 29(2), 213-38.
- Box, G. E., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. (1970). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Boyd, S., Busseti, E., Diamond, S., Kahn, R. N., Koh, K., Nystrup, P., & Speth, J. (2017). Multi-period trading via convex optimization. *Foundations and Trends R in Optimization*, 3 (1), 1–76.
- Braun, P. A., & Mittnik, S. (1993). Misspecifications in vector autoregressions and their effects on impulse responses and variance decompositions. *Journal of econometrics*, 59(3), 319-341.
- Brito, J., & Castillo, A. (2013). *Bitcoin: A primer for policymakers*. Mercatus Center at George Mason University.
- Bunjaku, F., Gjorgieva-Trajkovska, O., & Miteva-Kacarski, E. (2017). Cryptocurrencies—advantages and disadvantages. *Journal of Economics*, 2(1), 31-39.
- Caiado, J. (2002). Modelos VAR, taxas de juro e inflação. *In Literacia e Estatística Actas do X Congresso da Sociedade Portuguesa de Estatística*.
- Carneiro, F. G. (1997). A metodologia dos testes de causalidade em economia. *Brasília: Departamento de Economia, Universidade de Brasília*.
- Ciaian, P., Rajcaniova, M., & Kancs, D. A. (2016). The economics of BitCoin price formation. *Applied economics*, 48(19), 1799-1815.
- CoinMarketCap. (2021). *Coin Market Cap*. Disponível em <https://coinmarketcap.com/>
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation*, 2(6-10), 71.

- da Silva, E. K., & Maia, S. F. (2005). Metas inflacionárias: um estudo empírico para o Brasil. *Economia e Desenvolvimento*, 4(2), 259-298.
- Dai, W. (1998). *B-Money -an anonymous, distributed electronic cash system*. Disponível em <http://www.weidai.com/bmoney.txt>.
- Diebold, F. X. (1998). *Elements of forecasting*. Cincinnati, OH, USA: South-Western College Pub.
- Dyhrberg, A. H. (2016). Bitcoin, gold and the dollar—A GARCH volatility analysis. *Finance Research Letters*, 16, 85-92.
- Gabih, A., Grecksch, W., Richter, M., & Wunderlich, R. (2006). Optimal portfolio strategies benchmarking the stock market. *Mathematical Methods of Operations Research*, 64(2), 211-225.
- Gangwal, S., & Longin, F. (2018). Extreme movements in Bitcoin prices: A study based on extreme value theory. *Work. Paper Ser*, 8, 1-17.
- Hamilton, J. (1994). *Time series econometrics*. Princeton University press.
- Karmous, A., Boubaker, H., & Belkacem, L. (2019). A dynamic factor model with stylized facts to forecast volatility for an optimal portfolio. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 534, 122191.
- Koné, N. G. (2021). Regularized Maximum Diversification Investment Strategy. *Econometrics*, 9(1), 1.
- Liu, W. (2019). Portfolio diversification across cryptocurrencies. *Finance Research Letters*, 29, 200-205.
- Lofthouse, S. (2001). *Investment management*. Chichester: Wiley.
- Ma, Y., Ahmad, F., Liu, M., & Wang, Z. (2020). Portfolio optimization in the era of digital financialization using cryptocurrencies. *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120265.
- Maese, V. A., Avery, A. W., Naftalis, B. A., Wink, S. P., & Valdez, Y. D. (2016). Cryptocurrency: A primer. *Banking Lj*, 133, 468.
- Malladi, R. K., & Dheeriyaa, P. L. (2021). Time series analysis of Cryptocurrency returns and volatilities. *Journal of Economics and Finance*, 45(1), 75-94.
- Marchinares, A. H., & Aguilar-Alonso, I. (2020). Project Portfolio Management Studies Based on Machine Learning and Critical Success Factors. *International Conference on Progress in Informatics and Computing*, 369-374.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77–91.
- Markowitz, H. (1959). *Portfolio Selection, Efficient Diversification of Investments*. J. Wiley.

- May, T. (1992). The crypto anarchist manifesto. *High Noon on the Electronic Frontier: Conceptual Issues in Cyberspace*.
- Mensi, W., Al-Yahyaee, K. H., Al-Jarrah, I. M. W., Vo, X. V., & Kang, S. H. (2020). Dynamic volatility transmission and portfolio management across major. *The North American Journal of Economics and Finance*, 54, 101285.
- Mishkin, F. S. (2007). Inflation dynamics. *International Finance*, 10(3), 317-334.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*, 21260.
- Nakamoto, S. (2009). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. *Bitcoin.org*. Disponível em <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, 2008
- Nakamoto, S. (2019). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Manubot*.
- Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., & Goldfeder, S. (2016). *Bitcoin and cryptocurrency technologies: a comprehensive introduction*. Princeton University press.
- Nian, L. P., & Chuen, D. L. K. (2015). Introduction to bitcoin. *In Handbook of digital currency*, 5-30.
- Oliinyk, V., & Kozmenko, O. (2019). Optimization of investment portfolio management. *Serbian Journal of Management*, 14(2), 373-387.
- Pesaran, H. H., & Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics letters*, 58(1), 17-29.
- Peters, G. W., & Panayi, E. (2016). Understanding modern banking ledgers through blockchain technologies: Future of transaction processing and smart contracts on the internet of money. *In Banking beyond banks and money*, 239-278.
- Santos, J.O. (2010). Análise da relação risco e retorno em carteiras compostas por índices de bolsa de valores de países desenvolvidos e de países emergentes integrantes do bloco econômico BRIC. *Revista Contabilidade & Finanças*, 21, 23-37.
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Crown Publ. Group, New York.
- Silahli, B., Dingec, K. D., Cifter, A., & Aydin, N. (2019). Portfolio value-at-risk with two-sided Weibull distribution: Evidence from cryptocurrency markets. *Finance Research Letters*, 38, 101425.
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 1-48.
- Su, C. W., Qin, M., Tao, R., & Umar, M. (2020a). Financial implications of fourth industrial revolution: Can bitcoin improve prospects of energy investment?. *Technological Forecasting and Social Change*, 158, 120178.

- Su, C. W., Qin, M., Tao, R., Shao, X. F., Albu, L. L., & Umar, M. (2020b). Can Bitcoin hedge the risks of geopolitical events?. *Technological Forecasting and Social Change*, *159*, 120182.
- Swaray, R. B. (2002). Volatility of primary commodity prices: some evidence from agricultural exports in Sub-Saharan Africa. *Discussion Papers in Economics*, 0206
- Symitsi, E., & Chalvatzis, K. J. (2019). The economic value of Bitcoin: A portfolio analysis of currencies, gold, oil and stocks. *Research in International Business and Finance*, *48*, 97-110.
- Ulrich, F. (2017). *Bitcoin: A moeda na era digital*. LVM Editora.
- Yürük, P., Akyol, A., & Şimşek, G. G. (2017). Analyzing the effects of social impacts of events on satisfaction and loyalty. *Tourism Management*, *60*, 367-378.
- Zhang, Y., & Wen, J. (2017). The IoT electric business model: Using blockchain technology for the internet of things. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, *10*(4), 983-994.
- Zivot, E., & Wang, J. (2006). *Modeling financial time series with S-PLUS* (Vol. 2). New York: Springer.