

Indícios de Contágio em Ativos Norte-Americanos que Integram um Portfólio de Investimentos

ANDRÉ MARTINS ISMAIL

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro– PUC-RIO
andre.martins.ismail@gmail.com

MARCELO CABÚS KLÖTZLE

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro– PUC-RIO
klotzle@iag.puc-rio.br

ANTONIO CARLOS FIGUEIREDO PINTO

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro– PUC-RIO
figueiredo@iag.puc-rio.br

LEONARDO LIMA GOMES

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro– PUC-RIO
leonardolima@iag.puc-rio.br

Resumo

O estresse no mercado causado por crises financeiras tem impacto considerável em diferentes ativos financeiros. Logo, estudos relacionados a contágio buscam agregar na compreensão de quais ativos são mais propensos para ser transmissor ou receptor de contágio. Diante disso, é importante analisar diferentes canais de contágio em ativos que tradicionalmente fazem parte de portfólio para diversificação, seja patrimônio próprio ou institucional. O estudo teve como objetivo verificar a interação do contágio durante a crise da Covid19 dos índices americanos, que representam ativos que são utilizados para a construção de portfólios para investimentos. Optou-se por uma abordagem quantitativa para avaliação de contágio baseados em mudança de correlação, coassimetria, cocurtose e covolatilidade. O contágio nos Índices de *Treasury's* variam de acordo com sua maturidade. Para o índice de criptomoedas, apresentou uma resiliência maior para transmissão ou recepção de contágio, sugerindo uma possibilidade para utilização em carteira para efeito de *hedge*. Quanto aos modelos de identificação de contágio, os métodos denominados de dependência extrema mostraram-se mais eficazes, ao passo que, o modelo de coassimetria foi o oposto para a identificação de contágio. A pesquisa busca compreender quais canais de contágios são mais propensos a contaminação. Contribuindo para o âmbito de mercado, mapeando os canais de contágios para auxiliar os gestores de portfólio em uma estrutura de *hedge* mais eficaz.

Palavras chave: Contágio financeiro, Correlação, Coassimetria, Cocurtose, Covolatilidade.

1. Introdução

Uma vez estabelecida uma crise com impacto sistêmico é importante direcionar os estudos relacionados ao contágio financeiro que pode ser determinada pela propagação de distúrbios financeiros ou econômicos gerado por estresses nos mercados. Atualmente, o contágio financeiro é acelerado devido ao rápido desenvolvimento da globalização e os seus choques são transmitidos entre diferentes mercados (Guo et al., 2021). Esse contágio acelerado oriundo da globalização já foi evidenciado por Apergis et al., (2019) que identificaram o contágio entre os títulos de CDS do setor bancário, seguros, obrigações soberanas, ações e índices de volatilidade nos mercados americanos, europeu além da interdependência de ambos os mercados na crise do *subprime*.

Onze anos após a crise imobiliária, no final do ano de 2019 ficou marcado pela crise causada pelo novo Coronavírus – Covid19, crise sanitária com origem na China que se espalhou rapidamente no primeiro trimestre do ano seguinte. Na China, epicentro da crise, o impacto causado pela pandemia foi identificado no seu mercado como um todo, mas nos setores específicos como o setor do mercado imobiliário, sistema financeiro e seguros do país foram os mais afetados pela crise (Huang et al., 2022). Em escala global, com países de todos os continentes, o impacto no mercado de crédito foi maior em comparação ao mercado imobiliário (Zhang et al., 2023), evidenciando a força que uma crise pode impactar, seja no âmbito econômico ou financeiro.

Nos Estados Unidos o choque causado pela pandemia foi considerado o segundo maior da história americana. O índice S&P500 na janela próxima a declaração de pandemia pela OMS foi de retorno negativo de 12,77%, mas considerando a janela entre o primeiro caso de infecção nos EUA até o *lockdown* o retorno negativo acumulado foi de aproximadamente 43,94% (Ganie et al., 2022). Embora tenha estudos que relacionam o impacto do contágio a determinados setores da economia (Apergis et al., 2019; Zhang et al., 2023) ou classes de ativos específicos (Guo et al., 2021; Ahmed et al., 2023) no âmbito acadêmico ainda carece de estudos com uma abordagem que contempla ativos que são comumente utilizados para fins de diversificação. A Covid19, em particular, se destaca como a primeira crise que os ativos digitais presenciaram. O arcabouço teórico em criptoativos, em particular o Bitcoin, é robusto. Os estudos são distribuídos na perspectiva da diversificação, *hedge* e o contágio em um contexto de normalidade ou maior controle (Bouri et al., 2017; Corbet et al., 2018; Urquhart & Zhang, 2019; Shanaev et al., 2020) uma vez que a Covid19 foi a primeira grande crise em escala global desde o início das criptomoedas (Guo et al., 2021).

Na teoria de finanças, importantes modelos estatísticos foram desenvolvidos para explorar canais de contágio que incluem dependência linear (Forbes & Rigobon, 2002), dependência assimétrica (Fry et al., 2010) e dependência extrema (Fry-McKibbin & Hsiao, 2018). Isso contribuiu para um entendimento mais completo no estudo aprofundado de evento de estresse no mercado financeiro. Diante disso, com o intuito de analisar diferentes canais de contágio em ativos que tradicionalmente fazem parte de portfólio para diversificação, seja patrimônio próprio ou institucional, o objetivo do estudo é analisar o contágio financeiro entre ativos de alta volatilidade junto com ativos que são considerados ativos seguros, de baixa volatilidade, sob o contexto da Covid19.

Os resultados mostraram que os métodos denominados de dependência extrema são mais eficazes para a identificação de contágio, enquanto o método de coassimetria demonstrou ser menos eficiente. Quanto aos índices de *Treasury's*, o contágio varia de acordo com sua maturidade. Em última análise, o índice de criptomoedas apresentou uma resiliência maior para transmissão ou recepção de contágio, sugerindo uma possibilidade para utilização em carteira para efeito de *hedge*.

A contribuição do estudo está relacionada em compreender quais canais de contágios são mais propensos a contaminação. No âmbito de mercado, o mapeamento dos canais de contágios por gestores de portfólio pode auxiliá-los em uma estrutura de *hedge* mais eficaz. Uma segunda contribuição, no meio acadêmico, está na análise em dois ativos específicos: o comportamento sob efeito de estresse em criptoativos, uma vez que a Covid19 foi a primeira crise desse novo ativo digital; e títulos públicos soberanos, para os quais há pouca literatura específica em relação ao contágio financeiro.

2. Referencial Teórico

No final do ano de 2019 um novo Coronavírus descoberto na China foi o responsável por uma crise sanitária em âmbito mundial que impactou o mercado financeiro no ano seguinte. Diferente da crise do *subprime*, que gerou mudança estrutural na economia global, o Covid19 teve o seu impacto generalizado, seguido de muita incerteza e, com alguns meses, houve uma recuperação próxima ao nível anterior da pandemia (Grillini et al., 2022).

Eventos como a Covid19 são passíveis de contágio, assim como a crise mexicana de 1994, asiática de 1997, russa de 1998 e a *subprime* de 2008 (Abduraimova, 2022). No entanto, a certeza do contágio é testada através de metodologias que sejam capazes de identificá-las em diferentes momentos estatísticos. É importante evidenciar que a metodologia relacionada ao contágio é relativamente nova e, com o tempo, métodos mais robustos foram desenvolvidos com o objetivo de aprimorar os modelos existentes.

2.1 Contágio pelo Método de Correlação

O primeiro estudo relacionado a contágio foi desenvolvido por King e Wadhvani (1990), e a correlação era o principal fator de detecção de contágio no seu modelo estatístico. Nessa primeira abordagem, a utilização desse método é a mais intuitiva, mas a sua relação com o contágio não pode ser interpretada apenas por esse conceito.

Para Forbes e Rigobon (2002), trocas abruptas entre a correlação dos ativos ou mercados após o evento de choque é previsível. Sendo assim, é necessário fazer ajuste em que os autores denominaram heterocedasticidade dos retornos. Essa heterocedasticidade está relacionada à sua não constância do retorno do ativo ao longo do tempo. Isso quer dizer que a volatilidade pode ser mais baixa ou mais alta ao longo do tempo, gerando um viés no modelo.

Ainda segundo os autores, esse viés tem impacto direto na correlação tanto incondicional como condicional. A primeira está relacionada à correlação entre os ativos ao longo do tempo sem considerar um evento que cause algum estresse de mercado. Quanto a última, representa o relacionamento dos ativos considerando um choque significativo no tempo.

Logo, o contágio financeiro é definido através da correlação baseada apenas na correlação incondicional.

2.2 Contágio pelo Método de Coassimetria

Fry et al. (2010) afirmaram que embora os modelos de contágio baseados em correlação sejam um ponto de partida, esses modelos não podem ser considerados completos, de modo que outros métodos estatísticos de ordem superior sejam capazes de identificar diferentes canais de contágio.

Como já foi observado, em períodos de normalidade, é comum que os ativos financeiros tenham retornos positivos, volatilidade baixa e assimetria negativa, ou seja, estatisticamente há uma probabilidade menor de acontecer eventos com retornos extremamente negativos. Mas em período de crise, a situação se transforma, apresentando retornos negativos, alta volatilidade e assimetria positiva. Enquanto os dois primeiros elementos são de interpretação relativamente simples, a assimetria assume uma característica especial sob a perspectiva das finanças comportamentais. Nesse contexto, agentes que são avessos ao risco tendem a evitar perdas significativas, mesmo que isso signifique abdicar de ganhos potencialmente menores, como discutido por Kahneman e Tversky (1979).

O conceito mencionado também se aplica quando se trata do relacionamento entre dois ativos. Nesse contexto, Fry et al., (2010) exploraram a ideia de contágio por meio da interação entre esses ativos, com base na relação entre retorno esperado e a volatilidade. Essa interação pode ser analisada sob duas perspectivas: a interação entre o retorno esperado (ou volatilidade) do ativo de origem com a volatilidade (ou retorno esperado) do ativo receptor. O contágio é identificado quando a coassimetria entre esses ativos não segue mesma direção.

No entanto, Fry-McKibbin et al. (2018) são mais críticos ao afirmar que modelos estatísticos de contágio baseados apenas em coassimetria também têm suas limitações.

2.3 Contágio pelo Método de Cocurtose

Diferentes modelos de ordem superior contribuem para uma maior robustez para análise do contágio financeiro. Em especial, movimentos de dependência extrema, como cocurtose, contribuem com essa robustez (Potì & Wang, 2010; Smith, 2007). A literatura relacionada a contágio com base em dependência extrema já foi explorada de maneira consolidada (Doornik & Hansen, 2008; Kim, 2016) e, Fry-McKibbin e Hsiao (2018) atribuem ao seu modelo a simplicidade de aplicação e interpretação em comparação com os modelos já disponíveis.

Durante períodos de estabilidade, os investidores tendem a adotar uma postura mais ousada, buscando ativos com retornos positivos e assimetria negativa, o que resulta em uma menor curtose observada (Brunnermeier & Pedersen, 2009). No entanto, em tempos de estresse, uma mudança no retorno esperado de um ativo pode afetar a assimetria de outro ativo, levando a um comportamento leptocúrtico com um aumento na curtose durante eventos de crise. Essa característica específica da curtose torna os eventos extremos mais prováveis de ocorrer, e o contágio é estabelecido por Fry-McKibbin e Hsiao (2018) como a interação entre retorno e assimetria dos ativos.

Essa interação pode ser analisada sob duas perspectivas: a interação entre retorno esperado (ou assimetria) do ativo de origem com a assimetria (ou retorno esperado) do ativo receptor. O contágio é identificado quando há uma alteração na cocurtose dos ativos em análise.

Uma outra forma de análise de contágio da curtose através do comportamento leptocúrtico é pela covolatilidade. Fry-McKibbin e Hsiao (2018) sugerem um segundo modelo que a interação da volatilidade entre dois ativos representa sinal de contágio caso ocorra alteração na cocurtose.

2.4 Robustez Relacionada a Abordagem Conjunta dos Testes de Contágio Financeiro

A abordagem conjunta desses modelos denota uma maior compreensão de como o contágio pode ser identificado de diferentes formas e qual método apresentado é mais eficaz no objeto de estudo. Por exemplo, Calvo e Reinhart (1996) identificaram contágio na crise mexicana de 1994 utilizando apenas um modelo de correlação, mas, Forbes e Rigobon (2002) com o seu modelo linear ajustado não confirmaram a transmissão.

Ainda que exista diferentes métodos de correlação para teste de contágio, há evidências consideráveis que a análise de coassimetria e a cocurtose podem ser dimensões de riscos importantes, já visto na literatura ao longo de quase quarenta anos desde os artigos seminais (Kraus & Litzenberger, 1976; Friend & Westerfield, 1980) até os mais recentes (Poti & Wang, 2010; Fry-McKibbin & Hsiao, 2018).

Diante disso, estudos como Fry-McKibbin et al. (2018) identificaram forte evidência nos canais de covolatilidade e cocurtose em comparação com a coassimetria nos testes realizados na zona do Euro em que compreendeu o período de 2007 a 2014. E Apergis et al., (2019) com o mesmo modelo proposto para a crise do *subprime*, os testes de covolatilidade e cocurtose foram mais eficazes que os testes de coassimetria e correlação para CDS americanos e europeus.

A continuidade na pesquisa utilizando a abordagem conjunta desse tipo de técnica de análise de contágio busca agregar valor quando utilizada em um contexto com fins profissionais como ativos que são amplamente utilizados para fins de investimentos. Um importante aspecto em momento de crise é o estudo aprofundado das negociações das obrigações soberanas. É natural que tenha um aumento no volume de negociação desse ativo uma vez que é utilizado para diversificação de portfólio. A sua alta interdependência entre os mercados sugere que há transmissão do contágio (Liu et al., 2019). Um segundo ativo que é muito utilizado como *hedge* é o ouro devido sua natureza apresentar baixa volatilidade. Embora seja um bom *hedge* em período de crise, o contágio identificado ocorre após um tempo significativo ao evento (Chang et al., 2021). É importante ressaltar que os estudos cujos ativos sejam de baixa volatilidade apresentam escassez na literatura e a comunidade científica busca uma maior compreensão do seu comportamento.

Quanto ao campo de contágio e cripto, há pesquisas que comprovam o contágio financeiro entre criptomoedas e o mercado de capitais. Mas o contágio é maior quando o transmissor é o mercado de ações. No entanto, a pesquisa limita-se apenas a cinco criptomoedas (Ahmed et al., 2023). Os autores Guo et al., (2021), seguindo o mesmo tema, sugerem a bitcoin como uma alternativa de ativo seguro com base nos resultados de contágio, pois apresentaram

relativa independência antes do choque em comparação com outros ativos, mas ponderam que ativos como ouro, dólar e o mercado de títulos foram receptores de contágio do ativo digital.

Embora haja pesquisa nesse tema relacionado a criptomoedas, os estudos estão limitados aos principais ativos digitais, e sabendo que a crise sanitária é a primeira grande crise presenciada pelo ativo digital, há margem para mais pesquisas complementares com abordagem conjunta relacionada a método de identificação de contágio.

3 Metodologia

O objetivo do estudo foi analisar o contágio financeiro entre ativos de alta volatilidade juntamente com ativos que são considerados ativos seguros, de baixa volatilidade, sob o contexto da Covid19. Para atingir tal objetivo, foram utilizadas diferentes abordagens estatísticas como forma de mapear diferentes canais de contágio, seja pelo método linear, através da mudança de correlação proposto por Forbes e Rigobon (2002), e métodos mais robustos como mudança na coassimetria Fry et al. (2010), e métodos de dependência extrema como cocurtose (Fry-McKibbin & Hsiao, 2018).

A amostra foi composta por oito índices que podem ser representados em diferentes portfólios de investimentos para diversificação e com características distintas quanto a sua volatilidade. A escolha dos índices busca refletir a representação geral de ativos em um mercado específico, sendo eles:

Tabela 1: Ativos que Compõem o Estudo

S&P 500	Representa as 500 maiores empresas do mercado americano.
S&P Cryptocurrency Broad Digital Market (BDM)	Representa diferentes ativos digitais que atendam a critérios mínimos de liquidez e capitalização.
S&P US Dollar Futures	Representa uma carteira hipotética de contratos futuros de dólar americano.
S&P 500 Investment Grade Corporate Bond	Representa os títulos corporativos (debêntures) das 500 maiores empresas americanas.
S&P GSCI Precious Metals	Representa o desempenho no mercado de metais preciosos.
S&P US Treasury Bond 1-5 Year	Representa o desempenho da dívida pública de curto prazo que compreende títulos de 1 até 5 anos.
S&P US Treasury Bond 5-7 Year	Representa o desempenho da dívida pública de médio prazo que compreende títulos de 5 até 7 anos.
S&P US Treasury Bond 10+ Year	Representa o desempenho da dívida pública de longo prazo que compreende títulos de no mínimo 10 anos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados para o estudo foram extraídos do site spglobal.com. o site pertence à companhia Standard & Poor's Financial Services LLC, uma das três maiores empresas de classificação de risco dos Estados Unidos, que também fornece dados para análises e índices financeiros amplamente adotados por empresas ao redor do mundo.

Para a análise do contágio no período da Covid19, foi estabelecido a data 31/12/2019 como evento que determina o período da crise. A justificativa da data está relacionada ao primeiro alerta recebido pela Organização Mundial de Saúde – OMS que vários casos de pneumonia foram identificados na cidade de Wuhan, província de Hubei – China, que tratava de um novo tipo de Coronavírus nunca antes identificado em humanos. O tamanho da amostra abrange o período de 02/07/2019 até 30/06/2020, com um total de 250 observações diárias igualmente distribuídas em 125 observações para os períodos pré-crise e crise, respectivamente. O período fim da amostra converge com o final da primeira onda referente ao número de morte nos EUA divulgado pela agência Reuters de notícias.

Para o efeito de cálculo da modelagem estatística, todos os retornos observados na amostra são representados pelo logaritmo natural do dia “D” em comparação com o dia anterior “D-1”.

Cada amostra foi dividida em dois conjuntos representadas por “x” como período antes da crise e “y” período de crise. O tamanho total da amostra foi representada por “T” sendo “T_x” o tamanho da amostra pré-crise e “T_y” o tamanho da amostra da crise. A correlação entre os retornos dos mercados é denominada por “P” sendo “P_x” a correlação do período pré-crise e “P_y” a correlação do período de crise.

Na análise do contágio se faz necessário identificar o ativo de origem assim como o ativo receptor desse contágio. Logo, o ativo de origem é denominado “i” e o ativo receptor como “j”. quanto aos seus respectivos retornos diários, o retorno do ativo de origem é denominado por “r_i” e o retorno do ativo receptor como “r_j”.

Quanto a média da amostra, é calculado a média dos retornos antes da crise dos ativos de origem denominado “ $\mu_{x,i}$ ”, a média dos retornos no período de crise dos ativos de origem “ $\mu_{y,i}$ ”, a média dos retornos antes da crise dos ativos receptores “ $\mu_{x,j}$ ”, e a média dos retornos do período de crise dos ativos receptores “ $\mu_{y,j}$ ”.

Por fim, é calculado o desvio padrão dos retornos antes da crise dos ativos de origem denominado “ $\sigma_{x,i}$ ”, o desvio padrão dos retornos do período de crise dos ativos de origem “ $\sigma_{x,i}$ ”, o desvio padrão dos retornos antes da crise dos ativos receptores “ $\sigma_{x,j}$ ”, e o desvio padrão dos retornos do período de crise dos ativos receptores “ $\sigma_{y,j}$ ”.

Para todos os testes de contágio foram consideradas ao nível de significância de 5%. E para os testes de contágio de coassimetria, cocurtose e covolatilidade são distribuídos assintoticamente como $CS_{12}, CS_{21}, CK_{13}, CK_{33}, CV_{22}, (i \rightarrow j) \xrightarrow{d} X_1^2$.

3.1 Teste Baseado na Mudança de Correlação

Forbes e Rigobon (2002) justificam que, devido à interdependência entre os mercados, uma alteração na correlação relacionada a um choque de mercado não necessariamente está ligada ao contágio financeiro. De fato, a análise do coeficiente de correlação é uma abordagem segura, mas não pode ser mensurada de forma simples devido à heterocedasticidade dos retornos.

Para isso, define-se o modelo de ajuste na correlação da heterocedasticidade da seguinte forma:

$$v_y = \frac{p_y}{\sqrt{1 + \delta(1 - p_y^2)}}, \text{ onde } \delta = \frac{\sigma_{y,i}^2 + \sigma_{x,i}^2}{\sigma_{x,i}^2} \quad (1)$$

No entanto, Forbes e Rigobon (2002) destacam uma limitação no ajuste de heterocedasticidade, assumindo a inexistência de variáveis omitidas ou endogeneidade entre os ativos. Após corrigir o viés da heterocedasticidade, utiliza-se o modelo vetorial autorregressivo – VAR, com a variância-covariância estimada do modelo para calcular o coeficiente de correlação incondicional do ativo de origem para o ativo receptor. O modelo estimado é o seguinte:

$$FR(i \rightarrow j) = \frac{\frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+\hat{v}_y}{1-\hat{v}_y}\right) - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+\hat{p}_y}{1-\hat{p}_y}\right)}{\sqrt{\frac{1}{T_y-3} + \frac{1}{T_x-3}}} \quad (2)$$

Por fim, para a identificação do contágio financeiro baseado em correlação proposto pelos autores, é utilizado o teste t de *student*. As hipóteses do teste são definidas como:

$$H_0: v_Y = \rho_X \quad H_1: v_Y \neq \rho_X \quad (3)$$

Onde, a hipótese nula determina que o coeficiente de correlação incondicional do período de crise não é diferente da correlação do período pré-crise. Para a hipótese alternativa, há diferença significativa entre o coeficiente de correlação incondicional e a correlação do período pré-crise.

3.2 Teste de Contágio Baseado na Troca de Coassimetria

O modelo proposto por Fry et al. (2010), aborda duas análises da coassimetria. Primeiro, o teste (CS1,2) examina se uma mudança nos retornos esperados do mercado de origem levou a mudança na volatilidade do mercado receptor e o segundo teste (CS2,1), examina se uma mudança na volatilidade do mercado de origem levou a uma mudança no retorno esperado do mercado receptor:

$$CS_{m,n}(i \rightarrow j; r_i^m, r_j^n) = \left(\frac{\hat{\psi}_y(r_i^m, r_j^n) - \hat{\psi}_x(r_i^m, r_j^n)}{\sqrt{\frac{4\hat{v}_y+2}{T_y} + \frac{4\hat{p}_x+2}{T_x}}} \right)^2 \quad (4)$$

Onde,

$$\hat{\psi}_k(r_i^m, r_j^n) = \frac{1}{T_k} \sum_{t=1}^{T_k} \left(\frac{r_{i,t} - \hat{\mu}_{x,i}}{\hat{\sigma}_{x,i}} \right)^m \left(\frac{r_{j,t} - \hat{\mu}_{x,j}}{\hat{\sigma}_{x,j}} \right)^n, k = x, y; m, n = 1 e 2 \quad (5)$$

e \hat{v} refere-se ao modelo de ajuste na correlação da heterocedasticidade conforme apresentado em (1). Para o teste de significância estatística de mudança na coassimetria (CS1,2 e CS2,1) é definida como:

$$H_0: \psi_y(r_i^m, r_j^n) = \psi_x(r_i^m, r_j^n) ; H_1: \psi_y(r_i^m, r_j^n) \neq \psi_x(r_i^m, r_j^n) \quad (6)$$

A hipótese nula determina que o retorno esperado (ou volatilidade) no ativo de origem em relação a volatilidade (ou retorno esperado) do ativo receptor no período de crise é igual ao retorno esperado (ou volatilidade) no ativo de origem em relação a volatilidade (ou retorno esperado) do ativo receptor no período pré-crise.

3.3 Teste de Contágio Baseado na Mudança de Cocurtose

O modelo proposto por Fry-McKibbin e Hsiao (2018), abordam duas análises. Primeiro, o teste (CK1,3) detecta o contágio dos retornos esperados do mercado de origem para a assimetria do mercado receptor: A segunda análise, o teste (CK3,1) detecta o contágio da assimetria do mercado de origem para o retorno do mercado receptor:

$$CK_{m,n}(i \rightarrow j; r_i^m, r_j^n) = \left(\frac{\hat{\xi}_y(r_i^m, r_j^n) - \hat{\xi}_x(r_i^m, r_j^n)}{\sqrt{\frac{18\hat{\gamma}_y^2 + 6}{T_y} + \frac{18\hat{\gamma}_x^2 + 6}{T_x}}} \right)^2, m, n = 1 e 3 \quad (7)$$

Onde,

$$\hat{\xi}_x(r_i^m, r_j^n) = \frac{1}{T_x} \sum_{t=1}^{T_x} \left(\frac{x_{i,t} - \hat{\mu}_{x,i}}{\hat{\sigma}_{x,i}} \right)^m \left(\frac{x_{j,t} - \hat{\mu}_{x,j}}{\hat{\sigma}_{x,j}} \right)^n - (3\hat{\rho}_x) \quad (8)$$

$$\hat{\xi}_y(r_i^m, r_j^n) = \frac{1}{T_y} \sum_{t=1}^{T_y} \left(\frac{y_{i,t} - \hat{\mu}_{y,i}}{\hat{\sigma}_{y,i}} \right)^m \left(\frac{y_{j,t} - \hat{\mu}_{y,j}}{\hat{\sigma}_{y,j}} \right)^n - (3\hat{\gamma}_y)$$

e \hat{v} refere-se ao modelo de ajuste na correlação da heterocedasticidade conforme apresentado em (1). Para o teste de significância estatística de mudança na cocurtose (CS1,3 e CS3,1) é definida como:

$$H_0: \xi_y(r_i^m, r_j^n) = \xi_x(r_i^m, r_j^n) ; H_1: \xi_y(r_i^m, r_j^n) \neq \xi_x(r_i^m, r_j^n) \quad (9)$$

A hipótese nula é determinada pela interação do retorno esperado (ou assimetria) no ativo de origem em relação a assimetria (ou retorno esperado) do ativo receptor no período de crise é igual a interação do retorno esperado (ou assimetria) no ativo de origem em relação a assimetria (ou retorno esperado) do ativo receptor no período pré-crise.

3.4 Teste de Contágio Baseado na Mudança de Covolatilidade

O teste é baseado na identificação de eventuais mudanças significativas na covolatilidade após um choque, revelando um efeito sorriso da volatilidade através do canal de covolatilidade em um período de crise. Dessa forma, uma covolatilidade positiva (ou negativa) sugere que a volatilidade alta (ou baixa) de um ativo de origem estão associados a uma volatilidade alta (ou baixa) do ativo receptor.

. O modelo abaixo representa o teste de covolatilidade de Fry-McKibbin e Hsiao (2018):

$$CV_{22}(i \rightarrow j; r_i^2, r_j^2) = \left(\frac{\hat{\xi}_y(r_i^2, r_j^2) - \hat{\xi}_x(r_i^2, r_j^2)}{\sqrt{\frac{4\hat{v}_y^2 + 16\hat{v}_y^2 + 4}{T_y} + \frac{4\hat{p}_x^2 + 16\hat{p}_x^2 + 4}{T_x}}} \right)^2 \quad (10)$$

Onde,

$$\hat{\xi}_x(r_i^2, r_j^2) = \frac{1}{T_x} \sum_{t=1}^{T_x} \left(\frac{x_{i,t} - \hat{\mu}_{x,i}}{\hat{\sigma}_{x,i}} \right)^2 \left(\frac{x_{j,t} - \hat{\mu}_{x,j}}{\hat{\sigma}_{x,j}} \right)^2 - (1 + \hat{p}_x^2) \quad (11)$$

$$\hat{\xi}_y(r_i^2, r_j^2) = \frac{1}{T_y} \sum_{t=1}^{T_y} \left(\frac{y_{i,t} - \hat{\mu}_{y,i}}{\hat{\sigma}_{y,i}} \right)^2 \left(\frac{y_{j,t} - \hat{\mu}_{y,j}}{\hat{\sigma}_{y,j}} \right)^2 - (1 + 2\hat{v}_y^2)$$

e \hat{v} refere-se ao modelo de ajuste na correlação da heterocedasticidade conforme apresentado em (1). Para o teste de significância estatística de mudança na covolatilidade (CV2,2) é definida como:

$$H_0: \xi_y(r_i^2, r_j^2) = \xi_x(r_i^2, r_j^2); H_1: \xi_y(r_i^2, r_j^2) \neq \xi_x(r_i^2, r_j^2) \quad (12)$$

Sendo a hipótese nula é definida como a falta de interação significativa da volatilidade entre o ativo de origem e receptor no período de crise e do período pré-crise.

4. Análise dos Resultados

4.1 Estatística Descritiva

A estatística descritiva de cada índice encontra-se na tabela 2. De maneira geral a análise singular de cada ativo apresentou um maior aumento do desvio padrão assim como uma variação maior no coeficiente de correlação.

Tabela 2: Estatística Descritiva.

Estatística Descritiva Período Pré Crise

	<i>S&P 500</i>	<i>Crypto</i>	<i>Dollar</i>	<i>Bond</i>	<i>Precious metals</i>	<i>Treasury 1-5 Years</i>	<i>Treasury 5-7 Years</i>	<i>Treasury 10+ Years</i>
Média	0,00069	-0,00385	0,00012	0,00031	0,00079	0,00009	0,00010	0,00028
Mediana	0,00084	-0,00333	-0,00007	0,00025	0,00094	0,00011	0,00021	0,00101
Desvio padrão	0,00789	0,03840	0,00261	0,00293	0,00804	0,00125	0,00277	0,00869
Curtose	3,46952	2,95573	-0,13087	0,27380	1,61933	0,49197	0,42169	0,01378
Assimetria	-1,18060	-0,00045	0,07317	-0,18401	-0,28726	0,11767	0,00070	-0,01694
Contagem	125	125	125	125	125	125	125	125

Estatística Descritiva Período da Crise

	<i>S&P 500</i>	<i>Crypto</i>	<i>Dollar</i>	<i>Bond</i>	<i>Precious metals</i>	<i>Treasury 1-5 Years</i>	<i>Treasury 5-7 Years</i>	<i>Treasury 10+ Years</i>
Média	-0,00033	0,00219	0,00015	0,00045	0,00125	0,00034	0,00066	0,00155
Mediana	0,00187	0,00591	0,00041	0,00109	0,00141	0,00013	0,00021	0,00226
Desvio padrão	0,02927	0,04913	0,00566	0,00652	0,01568	0,00141	0,00372	0,01568
Curtose	4,35523	9,13350	2,04275	7,64458	3,30409	5,35348	5,70026	5,04882
Assimetria	-0,61737	-1,64871	0,57785	-1,75613	0,13158	0,78547	0,46198	0,14901
Contagem	125	125	125	125	125	125	125	125

Correlação Período Pré Crise

	<i>S&P 500</i>	<i>Crypto</i>	<i>Dollar</i>	<i>Bond</i>	<i>Precious metals</i>	<i>Treasury 1-5 Years</i>	<i>Treasury 5-7 Years</i>	<i>Treasury 10+ Years</i>
S&P 500		-0,02192	0,19208	-0,40513	-0,38635	-0,49363	-0,48083	-0,45919
Crypto	-0,02192		-0,07184	0,00397	0,08615	0,05044	0,03610	-0,00859
Dollar	0,19208	-0,07184		-0,24355	-0,37646	-0,37619	-0,33223	-0,20168
Bond	-0,40513	0,00397	-0,24355		0,54475	0,89560	0,95152	0,97045
Precious metals	-0,38635	0,08615	-0,37646	0,54475		0,61038	0,61560	0,56506
Treasury 1-5	-0,49363	0,05044	-0,37619	0,89560	0,61038		0,97950	0,85814
Treasury 5-7	-0,48083	0,03610	-0,33223	0,95152	0,61560	0,97950		0,92746
Treasury 10+	-0,45919	-0,00859	-0,20168	0,97045	0,56506	0,85814	0,92746	

Correlação Período da Crise

	<i>S&P 500</i>	<i>Crypto</i>	<i>Dollar</i>	<i>Bond</i>	<i>Precious metals</i>	<i>Treasury 1-5 Years</i>	<i>Treasury 5-7 Years</i>	<i>Treasury 10+ Years</i>
S&P 500		0,44462	0,02332	0,09596	0,20850	-0,55089	-0,57102	-0,51545
Crypto	0,4446		-0,02958	0,09777	0,38101	-0,15137	-0,14287	-0,10154
Dollar	0,0233	-0,02958		-0,59601	-0,18597	-0,35771	-0,37568	-0,35859
Bond	0,0960	0,09777	-0,59601		0,25731	0,43657	0,52301	0,53191
Precious metals	0,2085	0,38101	-0,18597	0,25731		0,04906	0,10236	0,17668
Treasury 1-5	-0,5509	-0,15137	-0,35771	0,43657	0,04906		0,96400	0,81884
Treasury 5-7	-0,5710	-0,14287	-0,37568	0,52301	0,10236	0,96400		0,90685
Treasury 10+	-0,5154	-0,10154	-0,35859	0,53191	0,17668	0,81884	0,90685	

Fonte: Elaborado pelos autores

A proposta da pesquisa foi buscar uma interpretação mais aprofundada do contágio relacionado ao evento da Covid19. Para isso, uma análise agrupada é mais interessante, sendo que a interpretação é realizada através dos quadrantes distribuídos nas tabelas. O primeiro quadrante, (Q1), localizado na parte superior esquerda, representa os índices de origens com maior volatilidade em relação aos índices receptores de maior volatilidade. O segundo quadrante (Q2), localizado na parte superior direita, representa os índices de origens de maior volatilidade em relação aos índices receptores de menor volatilidade. O terceiro quadrante, (Q3), localizado na parte inferior esquerda, representa os índices de origens com menor volatilidade em relação aos índices receptores de maior volatilidade, e o quarto quadrante, (Q4), parte inferior direita, representa os índices de origens com menor volatilidade em relação aos índices receptores de menor volatilidade.

Tabela 3: Estatística Descritiva – Coassimetria (CS1,2).

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 years	Treasury 5-7 years	Treasury 10+ Years	
S&P 500	Pré crise		-0,42	-0,11	-0,29	-0,14	-0,33	-0,30	-0,41
	Crise		-0,99	-0,99	-0,38	0,30	-0,39	-0,42	-0,42
Crypto	Pré crise	0,13		-0,01	-0,11	0,21	0,06	0,04	-0,07
	Crise	-0,97		-0,01	-0,36	-0,27	-0,17	-0,13	-0,13
Dollar	Pré crise	-0,30	-0,01		0,01	0,20	-0,11	-0,09	-0,06
	Crise	0,06	0,79		1,14	0,02	0,27	0,37	0,50
Bond	Pré crise	0,56	0,08	-0,18		-0,35	-0,04	-0,08	-0,18
	Crise	-0,70	-1,54	-0,98		-0,12	-0,40	-0,60	-0,12

Realização

Precious Metals	Pré crise	0,46	0,25	-0,18	-0,31		-0,26	-0,30	-0,18
	Crise	-0,36	-0,61	-0,26	-0,26		-0,10	-0,05	-0,12
Treasury 1-5 years	Pré crise	0,64	0,18	-0,09	-0,12	-0,22		0,04	-0,03
	Crise	0,24	0,18	-0,39	-0,45	0,11		0,52	0,13
Treasury 5-7 years	Pré crise	0,62	0,13	-0,12	-0,13	-0,27	0,08		-0,06
	Crise	0,19	-0,01	-0,58	-0,80	0,03	0,62		0,15
Treasury 10+ Years	Pré crise	0,71	0,11	-0,17	-0,13	-0,23	-0,01	-0,06	
	Crise	0,17	-0,21	-0,66	-1,10	0,01	0,31	0,26	

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 4: Estatística Descritiva – Coassimetria (CS2,1)

INDEX		S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 years	Treasury 5-7 years	Treasury 10+ Years
S&P 500	Pré crise		0,13	-0,30	0,56	0,46	0,64	0,62	0,71
	Crise		-0,97	0,06	-0,70	-0,36	0,24	0,19	0,17
Crypto	Pré crise	-0,42		-0,01	0,08	0,25	0,18	0,13	0,11
	Crise	-0,99		0,79	-1,54	-0,61	0,18	-0,01	-0,21
Dollar	Pré crise	-0,11	-0,01		-0,18	-0,18	-0,18	-0,09	-0,17
	Crise	0,15	-0,01		-0,98	-0,26	-0,26	-0,39	-0,66
Bond	Pré crise	-0,29	-0,11	0,01		-0,31	-0,12	-0,13	-0,23
	Crise	-0,38	-0,36	1,14		-0,26	-0,45	-0,80	0,01
Precious Metals	Pré crise	-0,14	0,21	0,20	-0,35		-0,22	-0,27	-0,23
	Crise	0,30	-0,27	0,02	-0,12		0,11	0,03	0,01
Treasury 1-5 years	Pré crise	-0,33	0,06	-0,11	-0,04	-0,26		0,08	-0,01
	Crise	-0,39	-0,17	0,27	-0,40	-0,10		0,62	0,31
Treasury 5-7 years	Pré crise	-0,30	0,04	-0,09	-0,08	-0,30	0,04		-0,06
	Crise	-0,42	-0,13	0,37	-0,60	-0,05	0,52		0,26
Treasury 10+ Years	Pré crise	-0,41	-0,07	-0,06	-0,07	-0,18	-0,03	-0,06	
	Crise	-0,42	-0,13	0,50	-0,80	-0,12	0,13	0,15	

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 5: Estatística Descritiva – Cocurtose (CS1,3).

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 years	Treasury 5-7 years	Treasury 10+ Years
S&P 500	Pré crise	0,34	0,06	0,01	-0,30	-0,20	-0,12	-0,20
	Crise	5,79	0,03	1,92	0,68	-3,91	-4,30	-3,05
Crypto	Pré crise	-0,55	-0,24	0,23	0,14	0,53	0,42	0,06
	Crise	2,64	0,92	0,66	1,30	-1,42	-1,51	-1,10
Dollar	Pré crise	0,98	0,21	0,13	-0,38	0,03	0,06	0,09
	Crise	0,43	-1,91	-6,03	-1,47	-2,46	-2,95	-3,25
Bond	Pré crise	-1,32	-0,57	-0,23	0,03	0,22	0,21	-0,06
	Crise	1,32	5,34	-3,48	1,02	2,69	3,33	3,53
Precious Metals	Pré crise	-1,38	-0,05	-0,14	0,10	-0,14	-0,17	-0,06
	Crise	2,05	3,25	-0,62	1,89	-0,86	-0,80	-0,13
Treasury 1-5 years	Pré crise	-1,66	-0,42	-0,17	0,16	0,16	0,30	-0,03
	Crise	-2,52	-0,07	-0,74	2,05	-0,46	4,95	4,27
Treasury 5-7 years	Pré crise	-1,49	-0,49	-0,16	0,15	0,17	0,33	-0,06
	Crise	-2,76	0,26	-1,27	3,27	0,13	4,80	4,70
Treasury 10+ Years	Pré crise	-1,68	-0,59	-0,18	0,07	0,10	0,14	0,14
	Crise	-2,07	1,24	-1,83	4,16	0,70	4,64	5,29

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 6: Estatística Descritiva – Cocurtose (CS3,1)

INDEX		S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 years	Treasury 5-7 years	Treasury 10+ Years
S&P 500	Pré crise		-0,55	0,98	-1,32	-1,38	-1,66	-1,49	-1,68
	Crise		3,32	0,44	1,38	2,21	-3,51	-3,59	-2,54
Crypto	Pré crise	0,34		0,21	-0,57	-0,05	-0,42	-0,49	-0,59
	Crise	5,10		-1,88	5,25	2,95	-0,11	0,27	1,31
Dollar	Pré crise	0,06	-0,24		-0,23	-0,14	-0,17	-0,16	-0,18
	Crise	0,01	0,89		-3,45	-0,65	-1,18	-1,59	-1,93
Bond	Pré crise	0,01	0,23	0,13		0,10	0,16	0,15	0,07
	Crise	1,86	0,76	-6,06		1,94	2,60	3,73	4,33
Precious Metals	Pré crise	-0,30	0,14	-0,38	0,03		0,16	0,17	0,10
	Crise	0,52	1,60	-1,44	0,97		-0,41	0,20	0,72
Treasury 1-5 years	Pré crise	-0,20	0,53	0,03	0,22	-0,14		0,33	0,16
	Crise	-2,92	-1,37	-2,01	2,14	-0,92		4,75	4,15
Treasury 5-7 years	Pré crise	-0,12	0,42	0,06	0,21	-0,17	0,30		0,14
	Crise	-3,47	-1,53	-2,63	2,88	-0,87	5,00		5,04
Treasury 10+ Years	Pré crise	-0,20	0,06	0,09	-0,06	-0,06	-0,03	-0,06	
	Crise	-2,59	-1,17	-3,15	3,35	-0,15	4,76	4,95	

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 7: Estatística Descritiva – Covolatilidade (CS3,3)

INDEX		S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 years	Treasury 5-7 years	Treasury 10+ Years
S&P 500	Pré crise		1,00	-0,28	1,58	1,58	2,16	1,93	2,13
	Crise		3,35	1,78	2,18	2,25	3,55	4,00	3,01
Crypto	Pré crise	1,00		0,43	-0,16	-0,55	-0,09	-0,13	0,07
	Crise	1,98		2,29	4,25	-0,33	0,59	0,50	0,61
Dollar	Pré crise	-0,28	0,43		1,00	1,38	1,41	1,24	0,83
	Crise	1,76	2,25		5,56	1,21	2,22	2,43	2,76
Bond	Pré crise	1,58	-0,16	1,00		-2,62	-5,01	-5,46	-5,77

Realização

	Crise	2,10	4,40	5,55		0,81	1,22	1,66	2,00
	Pré crise	1,58	-0,55	1,38	-2,62		-3,06	-3,13	-2,93
Precious Metals	Crise	2,01	0,28	1,24	0,73		1,89	1,81	0,70
	Pré crise	2,16	-0,09	1,41	-5,01	-3,06		-5,53	-4,85
Treasury 1-5 years	Crise	3,97	0,64	2,52	0,05	1,81		-0,89	-0,32
	Pré crise	1,93	-0,13	1,24	-5,46	-3,13	-5,53		-5,41
Treasury 5-7 years	Crise	4,39	0,49	2,65	0,65	1,70	-0,69		-0,01
	Pré crise	2,13	0,07	0,83	-5,77	-2,93	-4,85	-5,41	
Treasury 10+ Years	Crise	3,34	0,53	2,85	1,64	0,67	1,27	0,85	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Verifica-se as interações entre os retornos esperados e a volatilidade dos ativos em diferentes períodos, destacando as coassimetrias e cocurtoses apresentadas nas tabelas 3, 4 e 5. No período pré-crise, a maioria das coassimetrias e cocurtoses foram baixas ou próximas de zero, indicando uma baixa interdependência entre os ativos. Durante a crise, houve um pequeno aumento na interdependência, mas a maioria das interações permaneceu próxima de zero. Destaca-se que os índices de dólar e *Treasury* apresentaram mudanças significativas na coassimetria, passando de positiva para negativa, enquanto o índice de cripto apresentou coassimetria positiva durante a crise.

A análise da cocurtose, conforme a tabela 5, mostra que no período pré-crise, os ativos mantiveram uma baixa interdependência, com variações próximas de zero. No entanto, durante a crise, o índice S&P apresentou alta cocurtose positiva para o ativo receptor cripto e alta cocurtose negativa para os índices de *Treasury*. O índice de dólar teve alta cocurtose negativa em relação aos índices de baixa volatilidade, particularmente no índice de debênture, enquanto os índices de baixa volatilidade demonstraram alta cocurtose positiva entre si. O índice de metais preciosos, por outro lado, apresentou cocurtose negativa em relação aos índices de *Treasury*.

O texto analisa a interação entre ativos de alta e baixa volatilidade, observando mudanças na cocurtose e covolatilidade durante o período pré-crise e a crise da COVID-19. Antes da crise, houve uma cocurtose positiva significativa entre índices como o S&P e criptomoedas, enquanto a interação entre criptomoedas e o dólar foi caracterizada por uma cocurtose negativa crescente. Durante a crise, a cocurtose aumentou drasticamente, com inversões de sinais (de positivo para negativo e vice-versa). Apesar de algumas interações terem mostrado mudanças expressivas, não se pode afirmar definitivamente que houve contágio financeiro, o que será investigado por meio de testes estatísticos na seção seguinte.

Realização

4.2 Teste Baseado na Mudança de Correlação

Tabela 8: Teste de Contágio de Correlação

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		1,21 (0,22)	-1,47 (0,14)	3,56 (0,00)	3,63 (0,00)	2,84 (0,00)	2,64 (0,00)	2,61 (0,00)
Crypto	3,13 (0,00)		0,38 (0,70)	0,57 (0,56)	1,80 (0,07)	-1,33 (0,18)	-1,16 (0,24)	-0,56 (0,57)
Dollar	-1,43 (0,15)	0,46 (0,64)		-0,68 (0,49)	2,41 (0,01)	1,72 (0,08)	1,24 (0,21)	0,22 (0,82)
Bond	3,70 (0,00)	0,31 (0,75)	-0,62 (0,53)		-3,84 (0,00)	-9,63 (0,00)	-12,30 (0,00)	-14,22 (0,00)
Precious Metals	4,04 (0,00)	0,96 (0,33)	2,34 (0,01)	-3,71 (0,00)		-5,34 (0,00)	-5,19 (0,00)	-4,28 (0,00)
Treasury 1-5 Years	-0,13 (0,89)	-1,45 (0,14)	0,48 (0,63)	-8,05 (0,00)	-5,20 (0,00)		-3,12 (0,00)	-1,78 (0,07)
Treasury 5-7 Years	0,20 (0,83)	-1,12 (0,26)	0,37 (0,71)	-10,97 (0,00)	-5,01 (0,00)	-4,41 (0,00)		-3,03 (0,00)
Treasury 10+ Years	1,32 (0,18)	-0,37 (0,70)	-0,05 (0,95)	-13,73 (0,00)	-4,22 (0,00)	-4,38 (0,00)	-4,91 (0,00)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: As colunas indicam os ativos de origens (i), enquanto as linhas indicam os ativos receptores (j). A hipótese nula de cada teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

O teste de correlação ajustado para heterocedasticidade revelou contágio em 29 de 56 análises, com destaque para o índice de criptomoeda, que transmitiu contágio para o índice de ações no quadrante de alta volatilidade (Q1). No quadrante (Q2), o índice de ações foi um forte transmissor de contágio para os índices de baixa volatilidade, enquanto a criptomoeda não apresentou contágio nesse contexto. No quadrante (Q3), os metais preciosos transmitiram contágio para quase todos os índices de alta volatilidade, mas não houve contágio de índices de baixa volatilidade para a criptomoeda. Por fim, no quadrante (Q4), os índices de baixa volatilidade transmitiram contágio entre si, exceto o índice de *Treasury* de curto prazo para o de longo prazo.

4.3 Teste Baseado na Mudança de Coassimetria

Tabela 9: Teste de Contágio – Coassimetria (CS1,2)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		9,88 (0,00)	2,02 (0,15)	0,21 (0,15)	5,18 (0,02)	0,07 (0,79)	0,37 (0,54)	0,00 (0,96)
Crypto	32,93 (0,00)		0,00 (0,98)	1,98 (0,15)	6,32 (0,01)	1,62 (0,20)	0,95 (0,33)	0,11 (0,73)
Dollar	3,97 (0,04)	19,97 (0,00)		34,60 (0,00)	0,79 (0,37)	3,89 (0,04)	5,67 (0,01)	9,06 (0,00)
Bond	42,42 (0,00)	81,22 (0,00)	17,44 (0,00)		1,36 (0,24)	2,26 (0,13)	4,25 (0,03)	0,10 (0,75)
Precious Metals	17,69 (0,00)	21,97 (0,00)	0,15 (0,70)	0,06 (0,80)		0,62 (0,43)	1,43 (0,23)	0,10 (0,75)
Treasury 1-5 Years	3,32 (0,06)	0,00 (0,99)	2,30 (0,12)	1,80 (0,17)	2,57 (0,10)		2,50 (0,11)	0,37 (0,54)
Treasury 5-7 Years	3,95 (0,04)	0,64 (0,42)	5,55 (0,01)	6,69 (0,00)	1,98 (0,15)	3,22 (0,07)		0,52 (0,47)
Treasury 10+ Years	6,81 (0,00)	3,13 (0,07)	6,96 (0,00)	14,57 (0,00)	1,35 (0,24)	1,48 (0,22)	1,30 (0,25)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: As colunas indicam os ativos de origens (i), enquanto as linhas indicam os ativos receptores (j). A hipótese nula de cada teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Tabela 10: Teste de Contágio – Coassimetria (CS2,1)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		36,59 (0,00)	3,97 (0,04)	42,46 (0,00)	17,83 (0,00)	3,90 (0,04)	4,51 (0,03)	7,22 (0,00)
Crypto	8,89 (0,00)		19,96 (0,00)	80,90 (0,00)	20,95 (0,00)	0,00 (0,99)	0,64 (0,42)	3,12 (0,07)
Dollar	2,02 (0,15)	0,00 (0,98)		17,37 (0,00)	0,15 (0,70)	2,44 (0,11)	5,79 (0,01)	7,04 (0,00)
Bond	0,21 (0,64)	1,99 (0,15)	34,74 (0,00)		0,06 (0,80)	1,91 (0,16)	7,03 (0,00)	1,35 (0,24)

Realização

Precious Metals	5,15 (0,02)	6,63 (0,01)	0,79 (0,37)	1,35 (0,24)		2,58 (0,10)	1,99 (0,15)	1,35 (0,24)
Treasury 1-5 Years	0,06 (0,81)	1,62 (0,20)	3,66 (0,06)	2,13 (0,14)	0,62 (0,43)		3,19 (0,07)	1,33 (0,00)
Treasury 5-7 Years	0,32 (0,56)	0,95 (0,32)	5,43 (0,01)	4,04 (0,04)	1,43 (0,23)	2,53 (0,11)		1,24 (0,26)
Treasury 10+ Years	0,00 (0,96)	0,11 (0,73)	8,95 (0,00)	8,08 (0,00)	0,10 (0,75)	0,41 (0,52)	0,54 (0,46)	

Fonte: Elaborado pelos autores

Nota: As colunas indicam os ativos de origens (i), enquanto as linhas indicam os ativos receptores (j). A hipótese nula de cada teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Os testes de coassimetria indicaram contágio em 22 e 23 casos nos testes CS1,2 e CS2,1, respectivamente, divergindo do estudo de Fry et al., (2010) que apontou a correlação como melhor indicador de contágio. A análise revelou que os índices de alta volatilidade (Q1) não transmitiram contágio para o índice receptor do dólar, enquanto no (Q2), ações e criptomoedas transmitiram contágio apenas para metais preciosos. No quadrante (Q3), o índice de *Treasury* de curto prazo não mostrou transmissão de contágio para índices de alta volatilidade, mas no (Q4), o índice de debênture apresentou contágio para o *Treasury* de curto prazo. Em geral, os índices de baixa volatilidade não foram transmissores de contágio entre si, exceto em casos específicos envolvendo debêntures e *Treasuries*.

4.4 Teste de Contágio Baseado na Mudança de Cocurtose

Tabela 11: Teste de Contágio – Cocurtose (CS1,3)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		301,06 (0,00)	0,01 (0,90)	30,49 (0,00)	8,11 (0,00)	101,84 (0,00)	129,89 (0,00)	62,84 (0,00)
Crypto	88,25 (0,00)		13,82 (0,00)	1,97 (0,16)	12,21 (0,00)	38,76 (0,00)	38,19 (0,00)	14,05 (0,00)
Dollar	3,06 (0,08)	46,32 (0,00)		317,96 (0,00)	10,22 (0,00)	51,34 (0,00)	77,29 (0,00)	104,86 (0,00)
Bond	58,25 (0,00)	362,78 (0,00)	88,79 (0,00)		6,95 (0,00)	27,85 (0,00)	41,24 (0,00)	52,96 (0,00)

Realização

Precious Metals	98,76 (0,00)	105,61 (0,00)	1,96 (0,16)	22,74 (0,00)		3,47 (0,06)	2,67 (0,10)	0,04 (0,84)
Treasury 1-5 Years	4,33 (0,03)	1,29 (0,25)	2,46 (0,11)	15,29 (0,00)	2,57 (0,10)		59,12 (0,00)	63,51 (0,00)
Treasury 5-7 Years	10,17 (0,00)	5,77 (0,01)	10,10 (0,00)	38,95 (0,00)	0,01 (0,92)	55,46 (0,00)		70,06 (0,00)
Treasury 10+ Years	1,10 (0,29)	34,98 (0,00)	24,95 (0,00)	67,74 (0,00)	2,54 (0,11)	77,84 (0,00)	86,85 (0,00)	

Fonte: Elaborado pelos autores

Nota: As colunas indicam os ativos de origens (i), enquanto as linhas indicam os ativos receptores (j). A hipótese nula de cada teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Tabela 12: Teste de Contágio – Cocurtose (CS3,1)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		152,01 (0,00)	2,91 (0,08)	60,65 (0,00)	108,95 (0,00)	25,09 (0,00)	32,98 (0,00)	5,72 (0,01)
Crypto	197,30 (0,00)		45,06 (0,00)	348,90 (0,00)	81,52 (0,00)	0,98 (0,32)	5,99 (0,01)	37,48 (0,00)
Dollar	0,03 (0,87)	13,15 (0,00)		87,08 (0,00)	2,21 (0,13)	8,50 (0,00)	17,66 (0,00)	28,62 (0,00)
Bond	28,81 (0,00)	2,97 (0,08)	322,10 (0,00)		24,11 (0,00)	27,29 (0,00)	54,17 (0,00)	75,02 (0,00)
Precious Metals	5,70 (0,01)	20,68 (0,00)	9,67 (0,00)	6,24 (0,01)		2,13 (0,14)	0,01 (0,93)	2,73 (0,09)
Treasury 1-5 Years	44,17 (0,00)	36,67 (0,00)	31,87 (0,00)	15,69 (0,00)	4,02 (0,04)		54,55 (0,00)	54,55 (0,00)
Treasury 5-7 Years	70,03 (0,00)	38,85 (0,00)	58,24 (0,00)	28,42 (0,00)	3,30 (0,06)	61,20 (0,00)		74,02 (0,00)
Treasury 10+ Years	40,58 (0,00)	15,83 (0,00)	96,90 (0,00)	47,06 (0,00)	0,06 (0,80)	89,17 (0,00)	82,42 (0,00)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: As colunas indicam os ativos de origens (i), enquanto as linhas indicam os ativos receptores (j). A hipótese nula de cada teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Os testes CS1,3 e CS3,1 baseados na troca de cocurtose mostraram resultados significativos em 43 e 46 casos, respectivamente, evidenciando uma maior presença de contágio em comparação com modelos baseados em correlação e assimetria. A tabela 11 revelou contágio na maioria dos resultados, destacando a ausência de contágio significativo entre o índice de ações e o dólar, bem como entre criptomoedas e debêntures. Índices de baixa volatilidade, como *Treasuries* de curto e longo prazo, mostraram resiliência, não transmitindo contágio para índices de alta volatilidade. A tabela 12 confirmou esses achados, com algumas exceções, como a transmissão de contágio do índice *Treasury* de curto prazo para metais preciosos.

4.5 Teste de Contágio Baseado na Mudança de Covolatilidade

Tabela 13: Teste de Contágio – Covolatilidade (CS3,3)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		82,70 (0,00)	61,53 (0,00)	4,10 (0,04)	5,28 (0,02)	19,22 (0,00)	43,08 (0,00)	8,09 (0,00)
Crypto	11,64 (0,00)		53,14 (0,00)	300,67 (0,00)	0,63 (0,42)	7,16 (0,00)	6,14 (0,01)	4,47 (0,03)
Dollar	60,44 (0,00)	51,10 (0,00)		242,94 (0,00)	0,34 (0,56)	7,65 (0,00)	17,11 (0,00)	51,31 (0,00)
Bond	3,14 (0,07)	323,31 (0,00)	243,62 (0,00)		110,46 (0,00)	201,35 (0,00)	235,17 (0,00)	271,64 (0,00)
Precious Metals	2,14 (0,14)	9,64 (0,00)	0,22 (0,63)	104,68 (0,00)		210,60 (0,00)	207,14 (0,00)	120,53 (0,00)
Treasury 1-5 Years	24,99 (0,00)	8,12 (0,00)	12,84 (0,00)	123,09 (0,00)	203,68 (0,00)		59,97 (0,00)	77,11 (0,00)
Treasury 5-7 Years	49,03 (0,00)	5,86 (0,01)	22,33 (0,00)	162,54 (0,00)	197,53 (0,00)	66,26 (0,00)		95,01 (0,00)
Treasury 10+ Years	13,80 (0,00)	3,27 (0,07)	54,56 (0,00)	241,75 (0,00)	118,03 (0,00)	163,05 (0,00)	138,02 (0,00)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: As colunas indicam os ativos de origens (i), enquanto as linhas indicam os ativos receptores (j). A hipótese nula de cada teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

O teste baseado na troca de covolatilidade revelou 50 resultados significativos em 56 análises, destacando-se como o modelo mais sensível para identificar contágio, superando outros modelos. O índice de metais preciosos não transmitiu contágio para o índice de ações e,

como receptor, não apresentou significância estatística em relação aos índices de cripto e dólar. Além disso, os índices de debênture e *Treasury* de longo prazo não mostraram contágio significativo para os índices de ações e cripto, respectivamente. Esses achados corroboram estudos anteriores (Fry-McKibbin et al., 2018; Apergis et al., 2019), que apontam a superioridade dos testes de contágio de dependência extrema baseados em covolatilidade.

4.6 Análise Conjunta dos Testes de Contágios

Os diferentes tipos de testes buscaram evidenciar o contágio financeiro no período da crise da Covid19. Estudos de Fry-McKibbin et al. (2018) e Apergis et al. (2019) já mostraram que testes baseados na troca da correlação são menos eficazes em comparação com testes focados na troca da assimetria, apresentando, por sua vez, limitações em relação aos testes de dependência extrema. No entanto, os resultados dessa pesquisa mostraram divergência, visto que os testes de correlação foram mais eficazes que o teste de assimetria. Uma resposta plausível para esse comportamento pode estar relacionada à exagerada queda dos ativos devido à desconfiança que uma pandemia poderia causar e, em seguida, uma rápida recuperação nos meses seguintes, ainda sob o efeito da incerteza futura do Covid19 (Ganie et al., 2022).

Entre os índices estudados destacam-se três, o índice de criptomoeda, metais preciosos e os *Treasury's*. A crise da Covid19 foi a primeira grande crise que impactou as criptomoedas como um instrumento financeiro. Entre todos os testes utilizados os índices de criptomoedas mesmo sendo um ativo de alta volatilidade apresentou alguns resultados referente a não transmissão e recepção de contágio em comparação com ativos de baixa volatilidade como índices de debênture, metais preciosos e títulos públicos. Esse achado diverge da pesquisa de Guo et al. (2021) que utilizou apenas a bitcoin. No estudo proposto, foi utilizado índice de criptomoeda e, como índice, há diferentes moedas e pesos que o compõem. Dessa forma, espera-se que ativos digitais com baixo volume de negociação tenham comportamento diferente em relação ao contágio em comparação a moedas digitais populares com alto volume de negociação.

Os índices de metais preciosos se destacaram, principalmente, no teste de covolatilidade, pois é um teste mais sensível para identificação de contágio, corroborando a literatura já existente que momentos de terceira e quarta ordem são dimensões de riscos importantes (Kraus & Litzenberger, 1976; Friend & westerfield, 1980; Poti & Wang, 2010; Fry-McKibbin & Hsiao, 2018). Ainda quanto ao índice de metais preciosos, foi resiliente tanto como transmissor assim como receptor para ativos de alta volatilidade. O resultado sugere que em períodos de forte incerteza o investimento em ouro, como um metal precioso, pode ser uma forma mais segura de proteger seu investimento.

Quanto aos índices de *Treasury's* americanos os resultados dos testes de contágios não indicaram convergência para o mesmo ativo com maturidades distintas, ou seja, os títulos de curto, médio e longo prazo apresentaram contágio de maneira independente para diferentes ativos e período de tempo distinto.

Cabe salientar que os resultados devem ser encarados com parcimônia, uma vez que é necessário a continuidade da pesquisa relacionada à criptomoeda, não apenas para a bitcoin, a mais popular, mas também para outras criptomoedas que continuam ganhando popularidade ao longo dos anos. Quanto aos *Treasury's* há pouca evidência de estudos relacionados a títulos

com baixa volatilidade e os resultados da pesquisa mostraram a importância da escolha com base em sua maturidade uma vez que a identificação do contágio não é igual para o mesmo título.

O estudo sugere além da continuidade das novas pesquisas com a abordagem no contágio financeiro, novas pesquisas relacionadas a hedge utilizando como ativos as criptomoedas e os *Treasury's* uma vez que podem contribuir para uma maior segurança na construção de portfólios.

5. Conclusão

A pesquisa utilizou quatro tipos de testes de contágio para avaliar o impacto da COVID-19 em oito índices de alta e baixa volatilidade, durante o período de julho de 2019 a junho de 2020. Os testes incluíram análise de correlação, mudança de assimetria, cocurtose e covolatilidade. Os resultados principais indicaram que o teste de correlação apontou para um maior contágio em comparação com os testes de assimetria, destacando um contraste com o que é comumente encontrado na literatura.

Os resultados para os índices de criptomoeda e metais preciosos sugerem certa resiliência quanto a contágio, e para os índices de *Treasury's* americano as evidências mostraram que o contágio se comporta de forma diferente de acordo com a sua maturidade.

As descobertas podem contribuir para uma maior discussão nas escolhas relacionadas aos ativos de baixa volatilidade para a construção de um portfólio de investimentos, visto que títulos do tesouro americano são ativos amplamente utilizados na construção do mesmo e a transmissão de contágio é diferente para cada tipo de *Treasury* ao longo do tempo.

Quanto às criptomoedas, embora sejam ativos digitais cuja característica se destaca por sua alta volatilidade, a pesquisa mostrou uma janela de oportunidade relacionada a utilizar os ativos digitais para *hedge* em um portfólio. Pesquisas futuras são necessárias para a confirmação, mas sua resiliência para contágio pode ser um indicador.

Referências

- Abduraimova, K. (2022). Contagion and tail risk in complex financial networks. *Journal of Banking & Finance*, 143, 106560. <https://doi.org/10.1016/J.JBANKFIN.2022.106560>
- Ahmed, M. Y., Sarkodie, S. A., & Leirvik, T. (2023). Mutual coupling between stock market and cryptocurrencies. *Heliyon*, 9(5), e16179. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E16179>
- Apergis, N., Christou, C., & Kynigakis, I. (2019). Contagion across US and European financial markets: Evidence from the CDS markets. *Journal of International Money and Finance*, 96, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.JIMONFIN.2019.04.006>
- Bouri, E., Gupta, R., Tiwari, A. K., & Roubaud, D. (2017). Does Bitcoin hedge global uncertainty? Evidence from wavelet-based quantile-in-quantile regressions. *Finance Research Letters*, 23, 87–95. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2017.02.009>
- Brunnermeier, M. K., & Pedersen, L. H. (2009). Market liquidity and funding liquidity. *Review of Financial Studies*, 22(6), 2201–2238. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhn098>

- Calvo, S.G., & Reinhart, C.M. (1996). Capital flows to Latin America: is there evidence of contagion effects?
- Chang, M. S., Kung, C. C., Chen, M. W., & Tian, Y. (2021). Volatility regime, inverted asymmetry, contagion, and flights in the gold market. *Pacific-Basin Finance Journal*, 67, 101522. <https://doi.org/10.1016/J.PACFIN.2021.101522>
- Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). Exploring the dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets. *Economics Letters*, 165, 28–34. <https://doi.org/10.1016/J.ECONLET.2018.01.004>
- Doornik, J. A., & Hansen, H. (2008). An omnibus test for univariate and multivariate normality. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 70(SUPPL. 1), 927–939. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2008.00537.x>
- Forbes, K. J., & Rigobon, R. (2002). No Contagion, Only Interdependence: Measuring Stock Market Comovements. *The Journal of Finance*, *Doi:10.1111/0022-1082.00494*, 57(5), 2223–2261. <https://doi.org/10.1111/0022-1082.00494>
- Friend, I., & Westerfield, R. (1980). Co-Skewness and Capital Asset Pricing. *The Journal of Finance*, 35(4), 897–913. <https://doi.org/10.2307/2327208>
- Fry, R., Martin, V. L., & Tang, C. (2010). A new class of tests of contagion with applications. *Journal of Business and Economic Statistics*, 28(3), 423–437. <https://doi.org/10.1198/jbes.2010.06060>
- Fry-McKibbin, R., & Hsiao, C. Y. L. (2018). Extremal dependence tests for contagion. *Econometric Reviews*, 37(6), 626–649. <https://doi.org/10.1080/07474938.2015.1122270>
- Fry-McKibbin, R., Hsiao, C. Y. L., & Martin, V. L. (2018). Joint tests of contagion with applications. *Quantitative Finance*, 19(3), 473–490. <https://doi.org/10.1080/14697688.2018.1475747>
- Ganie, I. R., Wani, T. A., & Yadav, M. P. (2022). Impact of COVID-19 Outbreak on the Stock Market: An Evidence from Select Economies. *Business Perspectives and Research*. <https://doi.org/10.1177/22785337211073635>
- Grillini, S., Ozkan, A., & Sharma, A. (2022). Static and dynamic liquidity spillovers in the Eurozone: The role of financial contagion and the Covid-19 pandemic. *International Review of Financial Analysis*, 83, 102273. <https://doi.org/10.1016/J.IRFA.2022.102273>
- Guo, X., Lu, F., & Wei, Y. (2021). Capture the contagion network of bitcoin – Evidence from pre and mid COVID-19. *Research in International Business and Finance*, 58, 101484. <https://doi.org/10.1016/J.RIBAF.2021.101484>
- Huang, W., Lan, C., Xu, Y., Zhang, Z., & Zeng, H. (2022). Does COVID-19 matter for systemic financial risks? Evidence from China’s financial and real estate sectors. *Pacific-Basin Finance Journal*, 74, 101819. <https://doi.org/10.1016/J.PACFIN.2022.101819>
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Discussion On the interpretation of intuitive probability: A reply to Jonathan Cohen. In *Cognition* (Vol. 7).
- Kim, N. (2016). A robustified Jarque–Bera test for multivariate normality. *Economics Letters*, 140, 48–52. <https://doi.org/10.1016/J.ECONLET.2016.01.007>
- King, M. A., & Wadhvani, S. (1990). Transmission of Volatility between Stock Markets. *The Review of Financial Studies*, 3(1), 5–33. <https://doi.org/doi.org/10.1093/rfs/3.1.5>

Realização



- Kraus, A., & Litzenberger, R. H. (1976). Skewness Preference and the Valuation of Risk Assets. *The Journal of Finance*, 31(4), 1085–1100. <https://doi.org/10.2307/2326275>
- Liu, H. H., Wang, T. K., & Li, W. (2019). Dynamical Volatility and Correlation among US Stock and Treasury Bond Cash and Futures Markets in Presence of Financial Crisis: A Copula Approach. *Research in International Business and Finance*, 48, 381–396. <https://doi.org/10.1016/J.RIBAF.2019.02.002>
- Poti, V., & Wang, D. L. (2010). The coskewness puzzle. *Journal of Banking & Finance*, 34(8), 1827–1838. <https://doi.org/10.1016/J.JBANKFIN.2009.12.003>
- Shanaev, S., Sharma, S., Ghimire, B., & Shuraeva, A. (2020). Taming the blockchain beast? Regulatory implications for the cryptocurrency Market. *Research in International Business and Finance*, 51, 101080. <https://doi.org/10.1016/J.RIBAF.2019.101080>
- Smith, D. R. (2007). Conditional coskewness and asset pricing. *Journal of Empirical Finance*, 14(1), 91–119. <https://doi.org/10.1016/J.JEMPFIN.2006.04.004>
- Urquhart, A., & Zhang, H. (2019). Is Bitcoin a hedge or safe haven for currencies? An intraday analysis. *International Review of Financial Analysis*, 63, 49–57. <https://doi.org/10.1016/J.IRFA.2019.02.009>
- Zhang, X., Wei, C., Lee, C. C., & Tian, Y. (2023). Systemic risk of Chinese financial institutions and asset price bubbles. *The North American Journal of Economics and Finance*, 64, 101880. <https://doi.org/10.1016/J.NAJEF.2023.101880>

Realização

