

Análise comparativa dos efeitos do VIX sobre a volatilidade das principais Bolsas de Valores da América Latina e do G7: um estudo econométrico no período pré e durante a epidemia de Covid-19

PEDRO RAFFY VARTANIAN

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE (MACKENZIE)

ROBERTO SIMIONI NETO

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE (MACKENZIE)

Análise comparativa dos efeitos do VIX sobre a volatilidade das principais Bolsas de Valores da América Latina e do G7: um estudo econométrico no período pré e durante a epidemia de Covid-19

Resumo

Este estudo analisou e comparou a influência do índice VIX, conhecido como o “índice do medo”, sobre a volatilidade das Bolsas de Valores dos principais países da América Latina (Brasil, Chile e México) e sobre algumas das principais bolsas internacionais dos países integrantes do G7 (Estados Unidos, Alemanha, França e Reino Unido), no período de janeiro de 2017 a dezembro de 2021. Por meio da aplicação de modelos econométricos univariados e multivariados de volatilidade GARCH, a pesquisa tem como hipótese a existência de correlação condicional negativa entre o índice VIX e os demais índices das bolsas de valores, com destaque para a bolsa brasileira. No entanto, excetuando-se o período da pandemia, não foi possível identificar a presença de correlação condicional negativa entre o VIX e os índices das Bolsas de Valores selecionadas em todo o período analisado, ao contrário do que se esperava, denotando a necessidade de se avançar as investigações com estudos que considerem a análise do índice VIX com os respectivos efeitos sobre o mercado acionário, bem como o comportamento do investidor e as influências macroeconômicas e particulares do país de cada uma das bolsas analisadas.

Palavras-chave: VIX. Covid-19. Contágio financeiro. Bolsas de Valores. Modelo GARCH.

1. Introdução

O Índice VIX, conhecido como o “Índice do Medo”, mede as expectativas dos investidores com relação às ações que compõem o S&P 500, que é o índice que concentra as empresas listadas mais relevantes dos Estados Unidos. Quanto maior o índice VIX, maior tende a ser a incerteza global entre os investidores, acentuando a queda dos ativos de forma geral. Por outro lado, quanto menor o nível do índice VIX, maior o otimismo entre os investidores com baixo nível de percepção de risco (Chandra; Thenmozhi, 2015). A pandemia da Covid-19 afetou notadamente o índice VIX, pois ampliou a volatilidade do mercado acionário e deixou o índice VIX em maior evidência.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar e comparar os efeitos do índice VIX sobre a volatilidade das Bolsas de Valores dos principais países da América Latina (Brasil, Chile e México), e também sobre algumas das principais bolsas internacionais dos países integrantes do G7 (Estados Unidos, Alemanha, França e Reino Unido), no período de Janeiro de 2017 a Dezembro de 2021 e, paralelamente, responder à seguinte pergunta: como o índice VIX impactou, comparativamente, as Bolsas de Valores dos países da América Latina (Brasil, Chile e México) e as principais bolsas internacionais de alguns dos países do G7 (Estados Unidos, Alemanha, França e Reino Unido), no período de 2017 a 2021, parcialmente marcado pela ocorrência da crise sanitária provocada pela Covid-19. A Argentina foi excluída do estudo, pois deixou de ser considerada “mercado emergente”, em razão de sua reclassificação como “mercado autônomo” em 2021, por obra da *Morgan Stanley Capital* (MSCI), fornecedora de índices globais de ativos financeiros, que excluiu o país de todos os índices MSCI em razão de desequilíbrios macroeconômicos e distorções nas políticas macroeconômicas do país, que trazem insegurança aos investimentos no país. Além disso, no período recente, a Argentina já vinha sendo desconsiderada em estudos sobre países emergentes, como na análise de Benachou (2011). Complementarmente, Colômbia, Venezuela, Peru e Uruguai também não foram incluídos na análise, que teve como foco as Bolsas do Brasil, México e Chile diante da representatividade dessas bolsas e países na América Latina.

O estudo tem como hipótese o fato de que a bolsa brasileira teria reagido, no período analisado, com muito mais volatilidade às variações do Índice VIX comparativamente às outras bolsas da América Latina e as principais bolsas de valores mundiais. Todavia, antecipa-se que esta

hipótese não se confirmou, pois o índice VIX, principalmente no início da pandemia causada pela Covid-19, apresentou volatilidade muito superior do que os demais índices analisados comparativamente. O foco da pesquisa foi não somente analisar comparativamente o índice VIX e sua influência na volatilidade do mercado acionário, mas também entender seus efeitos em meio à uma crise sanitária sem precedentes provocada pela Covid-19. Nesse contexto, a relevância do estudo fica evidenciada na medida em que ainda existem poucas pesquisas que estabelecem uma ligação entre a pandemia de Covid-19 e a volatilidade do mercado financeiro. Assim, para a consecução dos objetivos do estudo, a pesquisa está organizada da seguinte forma. Após esta breve introdução apresenta-se o referencial teórico na seção 2, seguida de metodologia de pesquisa na seção 3, que contempla os dados utilizados e uma abordagem dos modelos de volatilidade GARCH univariado e multivariado. Na sequência, a seção 4 traz a apresentação de resultados e discussão seguidas, na seção 5, das considerações finais.

2. Referencial Teórico

Para realizar o presente estudo, considerou-se o fato de que a economia dos Estados Unidos tem significativa influência e impacta os demais mercados internacionais, como ficou evidenciado durante a crise financeira global em 2007-2009, momento em que, segundo Karolyi e Stulz (2003), a instabilidade americana se espalhou para outros mercados financeiros, aumentando as pesquisas sobre contágio e transbordamento. Segundo Giot (2015), estudos a respeito já apontaram que os retornos do VIX e do mercado de ações dos Estados Unidos estão negativamente correlacionados ao longo do período. Sarwar (2012) comprovou que existe até uma relação negativa do VIX com a bolsa brasileira quando o mercado de ações brasileiro está passando por elevado grau de volatilidade. E, de fato, o presente estudo comprovou que, em alguns momentos, ocorre correlação negativa do VIX e do mercado de ações dos EUA, mas não da mesma forma quando analisada comparativamente com os demais mercados acionários. Nos demais mercados, inclusive no mercado brasileiro, tal correlação somente existe de forma muito pontual, notadamente no auge das crises, tal como a recentemente provocada pela pandemia de Covid-19. Nesse contexto, o Quadro 1 apresenta uma síntese de várias pesquisas sobre efeito contágio, volatilidade, índice VIX e pandemia da Covid-19. Além de apresentar os autores, são apresentados os dados utilizados, a metodologia, o objetivo principal de cada uma das pesquisas com os respectivos resultados encontrados.

Ceylan (2021) a respeito das relações entre VIX e bolsas, mostrou que um choque no VIX, como ocorreu no auge da crise provocada pela pandemia de Covid-19, leva realmente a aumentos nas correlações entre os EUA e cada um dos mercados de ações europeus na semana seguinte, diante do fato de que os investidores se concentram nessa incerteza global, mas, posteriormente, uma parte significativa do choque é absorvida e, portanto, as correlações diminuem na segunda semana que se seguem ao choque, tendo o VIX um poder preditivo sim, mas de curto prazo para a dinâmica das correlações de retorno entre países. Este padrão temporal pode ser explicado em razão do mecanismo de realocação de atenção dos investidores, em que as “emoções” do mercado de ações internacionais tendem a aumentar até que os investidores resolvam esse fator de incerteza global e, posteriormente, desviem sua atenção para o processamento de informações específicas de cada país. Azevedo e Pereira (2017) chegaram à mesma conclusão, afirmando que o índice VIX tem algum poder preditivo para curtos horizontes de tempo e durante períodos de crise. Apurou-se também, como resultados dos estudos, que em muitos casos no período analisado houve alta dos índices das bolsas de valores em momentos de alta do índice VIX, bem como momentos de queda de bolsa, mesmo com a queda do VIX. E esse fenômeno, segundo defende Agyei et. al. (2022), pode ter ocorrido em razão até mesmo do comportamento heterogêneo do investidor, que se reflete na precificação do mercado, uma vez que o mercado não funciona sozinho, já que distintos atores econômicos tomam decisões de investimento em diferentes horizontes de tempo e em conformidade com seu apetite ao risco.

Quadro 1. Síntese de pesquisas sobre efeito contágio/volatilidade, índice VIX e Covid-19.

Autor/Ano	Dados Utilizados/Metodologia	Objetivo do estudo	Principais resultados
Agyei et al. (2022)	Índices diários do mercado de ações (Brasil, Rússia, Índia e China) e G7 (Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão, Reino Unido e EUA).	Examinar o efeito transbordamento entre o índice do mercado de ações dos países do BRIC e o índice do mercado de ações dos países do G7	Os transbordamentos encontrados entre BRIC e G7 são significativos no curto prazo, com França, Alemanha e Reino Unido transmitindo os maiores choques aos mercados BRIC, principalmente entre 2017 e 2019, em razão da tensão comercial EUA-China, tendo França, Reino Unido (curto prazo) e Canadá e EUA (médio e longo prazo) como fontes de contágio entre BRIC e G7.
Akhtaruzzaman et al. (2020)	Índices de retorno dos setores financeiros e não financeiros da China e dos países do G7. Metodologia: VARMA, DCC-GARCH.	Examinar como ocorre o contágio financeiro por meio de empresas financeiras e não financeiras entre a China e o G7 no período de Covid-19.	A correlação condicional entre os retornos das ações de empresas financeiras e não financeiras em todos os países aumentou durante o período de pandemia do COVID-19, o que implica em contágio financeiro.
Amitrano et al. (2020)	Medidas econômicas adotadas para reduzir os efeitos econômicos da pandemia de Covid-19, pelos EUA, Reino Unido e Espanha.	Apresentar um panorama internacional das medidas econômicas adotadas no período entre março e o primeiro decênio de abril de 2020, para reduzir os efeitos econômicos da pandemia de Covid-19 e analisar os arranjos institucionais que organizam o processo de operacionalização dessas políticas públicas.	As medidas adotadas nos três países apresentam como características comuns a mobilização de grande volume de recursos fiscais e financeiros, a adoção de grande diversidade de instrumentos de política econômica e uso de arranjos institucionais sofisticados em termos de regras de focalização e de mecanismos de operacionalização das medidas adotadas.
Azevedo e Pereira (2017)	Índice VIX. Metodologia: Modelos GARCH, modelo de erro multiplicativo.	Testar se o VIX apresenta maior poder preditivo da volatilidade futura e contém informações não presentes em modelos de séries temporais para variáveis não negativas.	O VIX apresenta maior poder preditivo em períodos de estabilidade econômica, sendo que em períodos de crise econômica apresenta este poder para o curto prazo.
Aziz et al. (2020)	Preços de petróleo bruto, arroz e gasolina. Metodologia: GARCH.	Examinar o transbordamento da volatilidade entre o mercado de ações e commodities dos EUA.	Não há transbordamento de volatilidade entre o mercado de ações, e sim, de petróleo, arroz e gás.
Bekaert, Hoerova e Lo Duca (2013)	Índice VIX. Metodologia: Modelo VAR.	Analisar a relação entre a política monetária e o VIX e seus componentes.	O índice VIX é afetado em grande parte até mesmo pela postura da política monetária dos EUA (efeito da pandemia com contágio do índice VIX). O efeito da política monetária sobre a aversão ao risco é aparente em regressões usando dados de alta frequência.
Brenner e Galai (1989)	Instrumentos para proteção contra a volatilidade do mercado (opções). Metodologia: Análise da variância.	Propor o uso de um índice "Sigma" de volatilidade como referência para o mercado de títulos e mercado de câmbio.	Opções baseadas em um índice de volatilidade não podem ser replicadas com opções convencionais que não sejam o <i>hedge</i> dinâmico e com alto custo.
Ceylan (2021)	Dados de variância do mercado e do mercado de ações francês. Metodologia: análise impulso-resposta ortogonalizada	Estudar a relação entre o prêmio de risco de variância, a variância de mercado e as correlações de ações no mercado de ações francês de setembro de 2002 a setembro de 2006.	O choque no índice VIX leva a um aumento das correlações entre bolsas internacionais, mas que tendem logo a diminuir.
Chinaglia (2021)	Dados bibliográficos sobre crises econômicas da década de 1990 e início dos anos 2000 e sobre a crise trazida pelo Covid-19.	Analisar como a pandemia de Covi-19 afetou negativamente as economias nacionais, em grande parte por conta da fragilidade dessas economias diante da financeirização do capital	Existe a possibilidade de que o surto do coronavírus além da volatilidade trazida ao mercado financeiro, leve a uma recessão econômica de escala mundial.
Chow, Jiang e Li (2014)	Índice VIX de janeiro de 2005 a maio de 2014. Metodologia: recálculo de dados conforme procedimento CBOE.	Demonstrar que o índice VIX não mede a expectativa do mercado de volatilidade, mas de uma combinação linear de momentos. Propor o índice GVIX.	Vix é uma combinação linear de momentos de retorno <i>ex-ante</i> , não a volatilidade esperada e pode subestimar a verdadeira volatilidade quando a expectativa de retorno do mercado está com viés negativo.
Corsetti et al. (2005)	Dados sobre os efeitos internacionais da crise do mercado de ações de Hong Kong em 1997 em 17 países.	Analisar o efeito contágio.	Encontrado evidências de efeito contágio em 5 países.
Fassas (2012)	Índice VIX e retornos do S&P500. Análise empírica.	Analisar a relação entre o índice VIX e os retornos de ações subjacentes.	Encontrou correlação entre estrutura a termo dos futuros do índice VIX e retornos subsequentes do S&P 500.
Fernandes (2020)	Dados de exportação, importação e GDP da China (2005-2020). Dados de turismo de 24 países, S&P 500, performance de bolsas de vários países em 2020, retornos de mercados setoriais mundiais e o índice VIX.	Discutir o impacto econômico da crise de Covid-19 em todos os setores e países.	O processo de integração econômica levou a um efeito de transbordamento maior, com impacto em todas as cadeias de suprimentos e interrompendo a demanda e a oferta.
Forbes e Rigobon (2012)	Dados de 5 países (Brasil, Argentina, México, EUA, Malásia, Rússia). Metodologia de Redes Bayesianas. ARMA-GARCH.	Identificar a existência de contágio financeiro.	Os resultados apontaram para grande interligação entre os mercados e diversas evidências de contágio em períodos de crise financeira.
Giot (2015)	Dados do índice VIX, VXN, S&P 100 e Nasdaq 100.	Analisar a relação entre os índices de volatilidade e os retornos de ações.	Observou existir correlação negativa entre os retornos do VIX e do mercado de ações dos Estados Unidos.
Hernandes e Valdés (2001)	Dados das crises tailandesa, russa e brasileira.	Apresentar evidências sobre a importância relativa dos canais alternativos de contágio.	Quando as crises são medidas pelos retornos do mercado de ações, os vínculos comerciais e efeitos da vizinhança podem ser canais de contágio (crise tailandesa e brasileira).
Ibikunle e Rzyev (2020)	Dados do índice de bolsa de Londres, Alemanha. Dados do índice VIX. Uso de cálculos de estimativas diárias de atividade de negociação e volatilidade.	Explorar o choque exógeno da pandemia de Covid-19 mercados financeiros.	A volatilidade tem amplas implicações para negociação, precificação de ativos, investimento e gerenciamento de risco.
Mensi et al. (2016)	Dados do mercado acionário dos EUA, BRICS (setembro de 1997 a outubro de 2013). Metodologia: modelo Bivariado DCC-FIAPARCH	Avaliar o efeito spillover entre o mercado acionário dos Estados Unidos e os países do BRICS.	Eles encontraram efeito de transbordamento de volatilidade assimétrica entre mercados desenvolvidos e emergentes.
Silvennoinen e Terasvirta (2008)	Dados de modelos Garch Multivariados.	Rever modelos GARCH multivariados.	Os modelos GARCH multivariados (MGARCH) tem sido mais amplamente utilizados justamente quando o objetivo é investigar a volatilidade e a transmissão de correlação e os efeitos de transbordamento (spillover) em estudos de contágio.
Vartanian (2020)	Ibovespa, Preço de Commodities. Metodologia: Garch Multivariado	Avaliar relações entre preços de commodities e o Ibovespa com o objetivo de eventual diversificação.	Não houve indícios de correlação entre o Retorno do Ibovespa e os preços de commodities, assegurando a possibilidade de diversificação por parte dos investidores.

Fonte: Elaboração própria.

Não se pode desconsiderar que, em momentos de instabilidade, muitas vezes os investidores e operadores de mercado que operam opções de SP&500 (SPX), podem optar por pagar mais caro pelas opções de venda (puts), o que pode elevar o nível do índice VIX em um momento de alta também do SP&500 (SPX), o que permite concluir que existe o papel importante do

comportamento dos investidores na decisão de mercado, que pode ter causado ou colaborado para uma volatilidade maior do índice VIX, quando comparada com a volatilidade apresentada pelos demais índices de bolsa então analisados. A possibilidade de que fundamentos macroeconômicos estruturais de uma economia ou até mesmo decisões de investidores e de outros agentes financeiros podem causar mudanças na arquitetura do mercado financeiro em razão do efeito contágio já foi analisada por Dornbusch et al. (2000). Hernandez e Valdés (2001), por sua vez, também deixaram claro que os fundamentos macroeconômicos dos países podem ser canais de contaminação de crises, sendo possíveis mecanismos de transmissão às ligações das mais diversas entre países, sejam elas de natureza comercial, financeira e até mesmo as práticas de *hedge* em países cujos retornos são correlacionados, informações assimétricas e comportamento de investidores estrangeiros, entre outros.

Além disso, o efeito contágio foi observado principalmente no auge da crise provocada pela pandemia de Covid-19, com as notáveis mudanças significativas na conectividade entre os mercados acionários e transbordamento, resultando na alta volatilidade visível em todos os mercados. O índice VIX evidenciou isso, servindo como verdadeiro *indicador de medo* no período da crise sanitária. Forbes e Rigobon (2002), analisando as crises do México em 1994 e a asiática em 1997, e utilizando dados de 29 países (membros da OCDE, asiáticos, da América Latina e emergentes) usaram um modelo multivariado do tipo VAR (Vetor Autorregressivo), e não encontraram evidências de contágio entre cada uma das crises. Os autores indicaram, ainda, que eventual aumento da correlação entre países pode ter se dado pelo simples aumento da volatilidade. Segundo estes mesmos autores, existe o efeito contágio apenas quando existe um aumento nas correlações entre países durante as crises, por meio do retorno de seus mercados acionários, somado à ciência da existência de crise. Do contrário, trata-se de mero efeito derivado de interdependência entre mercados (*shift contagion*) e não propriamente um “contágio” efetivo. Corsetti et al. (2005), ao analisar o efeito contágio, concluíram que não há um modo único de se derivar uma medida de interdependência a partir de um modelo de ativos, já que os ruídos de cada país devem ser levados em conta quando realizados testes de quebras estruturais nas transmissões de crises.

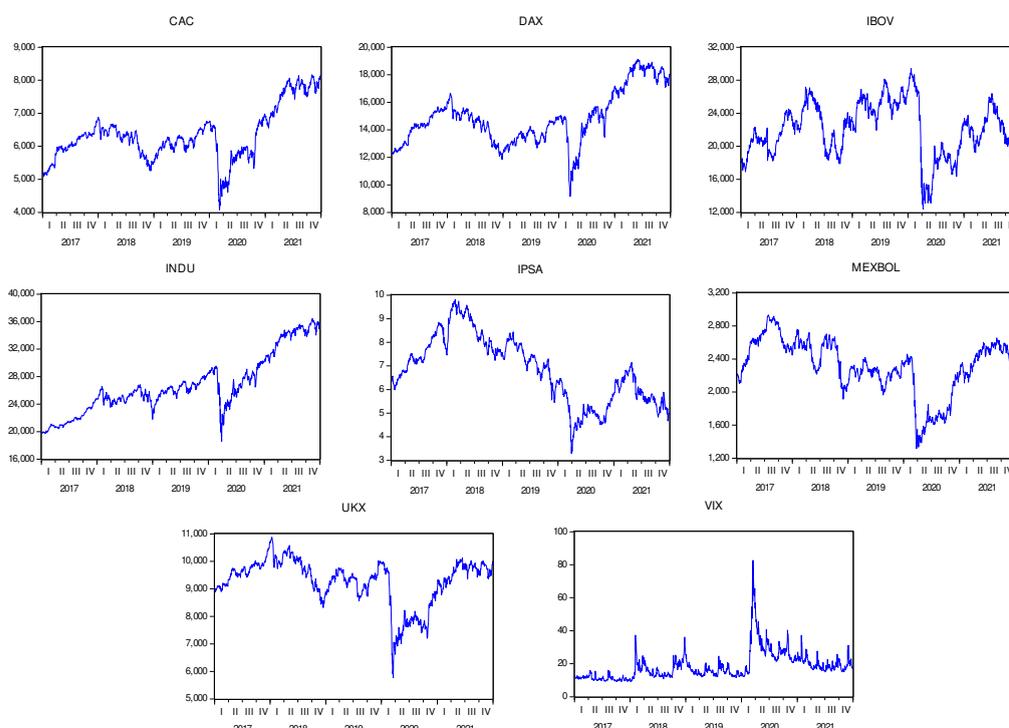
3. Metodologia

Modelos de volatilidade vêm sendo aplicados de forma recorrente no campo das finanças e em outras áreas. Os modelos univariados, da família ARCH/GARCH, permitem a análise da volatilidade ao longo de um período de tempo, ao passo que os modelos multivariados possibilitam a análise de contágio de volatilidade entre duas ou mais variáveis. Nesse contexto, os modelos GARCH multivariados (MGARCH) têm sido amplamente utilizados quando o objetivo é investigar a volatilidade, a transmissão de correlação e os efeitos de transbordamento (*spillover*) em estudos de contágio (Silvennoinen; Terasvita, 2008). Isso posto, destaca-se que a metodologia foi dividida em duas subseções: na primeira subseção serão apresentados os dados utilizados na estimativa econométrica e na segunda subseção serão descritos os modelos utilizados na presente pesquisa.

3.1 Dados utilizados

Os dados do índice VIX e dos indicadores das Bolsas dos Países da América Latina (Brasil, Chile e México) e de alguns países do G7 (Estados Unidos, Alemanha, França e Reino Unido) foram obtidos com auxílio da Bloomberg para o período completo de 2017 a 2021 e apresentados na Figura 1. O período estudado abrange a crise sanitária causada pela pandemia de Covid-19. Foi utilizado o preço de fechamento diário de cada índice, representado por pontos, divulgado por meio da Bloomberg e cotados em dólar (com exceção do VIX), conforme descrição apresentada a seguir.

Figura 1. Evolução das variáveis (Bolsas de Valores e índice VIX), no período de janeiro de 2017 a dezembro de 2021.



Fonte: Elaboração própria com base nos cálculos efetuados no pacote econométrico Eviews 9.

- Bolsa de Valores do Brasil: dados do índice Ibovespa, obtido da Bloomberg, representada por IBOV.
- Bolsa de Valores do Chile: dados do índice S&P CLX IPSA, obtido da Bloomberg, representado por IPSA.
- Bolsa de Valores do México: dados do índice S&P/BMV IPC obtido da Bloomberg, representada por MEXBOL.
- Bolsa de Valores dos Estados Unidos: dados do Índice Dow Jones Industrial Average, da New York Stock Exchange, obtido da Bloomberg, representado por INDU.
- Bolsa de Valores da Alemanha: dados do índice DAX-30 obtido da Bloomberg, representado por DAX.
- Bolsa de Valores da França: dados do índice CAC-40, obtido da Bloomberg, representado por CAC.
- Bolsa de Valores do Reino Unido: dados do índice do FTSE-100, obtidos da Bloomberg, representado por UKX.
- Índice VIX: dados obtidos da Bloomberg, representado por VIX.

Com relação à evolução das variáveis, a Figura 1 apresenta, no período de janeiro de 2017 a dezembro de 2021, tanto a evolução das bolsas quanto do índice VIX. Entre várias questões, destaca-se aqui uma queda súbita em todas as bolsas no início de 2020, independentemente da tendência anterior. A queda súbita coincide com a disseminação do vírus da Covid-19 com consequente implementação, por parte de vários países, de políticas de isolamento social (lockdowns). Ainda de acordo com a Figura 1, é possível notar que a queda acentuada nas bolsas de valores provocada pela pandemia de Covid-19, no início de 2020, ocorreu de forma concomitante a um expressivo aumento do índice VIX. Ao longo de todo o período analisado nota-se que o índice VIX teve aumentos súbitos, mas nenhum se compara ao que ocorreu em 2020.

3.2 Modelo Econométrico

Modelos de volatilidade ganharam espaço nas análises e pesquisas desde a introdução do modelo de heteroscedasticidade condicional autorregressiva (ARCH) por Engle (1982) e, posteriormente, por Bollerslev (1986), que desenvolveu uma nova especificação que ficou conhecida como GARCH (ARCH generalizado). Para utilizar o modelo GARCH, é necessária a presença de estacionariedade das séries de retorno para a estimativa. Os processos GARCH são processos ARCH generalizados, o que significa que as volatilidades dependem tanto das volatilidades passadas quanto dos valores ao quadrado do processo. Engle (1982), realizou os primeiros estudos sobre volatilidade univariada filtrando a heteroscedasticidade da variância, modelando um processo AR(1) e ajustando a série para previsão de períodos futuros, nomeando este processo de ARCH.

Assim, sendo a média condicional de y_{t+1} :

$$E_t y_{t+1} = \alpha_0 + \alpha_1 y_t \quad (1)$$

A variância dos erros com a média condicional acima, segundo Belinschi (2015) é dada por:

$$E_t [y_{t+1} - \alpha_0 - \alpha_1 y_t]^2 = E_t \varepsilon_{t+1}^2 = \sigma^2 \quad (2)$$

Caso seja considerado que $\frac{1}{1-\alpha_1} > 1$, a previsão incondicional terá maior variância

que a condicional, sendo preferíveis as previsões condicionais às incondicionais. Se a variância de $\{\varepsilon_t\}$ não é uma constante, é possível estimar qualquer tendência de movimentos sustentáveis na variância usando modelos ARMA. Caso $\{\varepsilon_t\}$ seja o resíduo estimado do modelo $y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_t + \varepsilon_t$, a variância condicional de y_{t+1} será:

$$Var(t_{t+1} | y_t) = E_t [(y_{t+1} - \alpha_0 - \alpha_1 y_t)^2] \quad (3)$$

$$E_t [(E_{t+1})^2]$$

Supondo que a variância condicional não seja constante, uma estratégia para prevê-la seria por meio do quadrados dos erros estimados de um processo AR(q). E, sendo V_t um processo de ruído branco, tem-se:

$$y_t | \psi y_{t-1} \sim N(x_t \beta, h_t) \quad (4)$$

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-2}^2 \dots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}^2$$

$$\varepsilon_t = y_t - x_t \beta$$

Se os valores $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ forem iguais a zero, a variância estimada é a própria constante α_0 . Por outro lado, se a variância de $\{y_t\}$ evoluir por um processo autorregressivo dos erros acima, deve ser utilizada a função a seguir para prever a variância condicional de $t + 1$ como:

$$E_t \varepsilon_{t+1}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_t^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-1}^2 \dots + \alpha_q \varepsilon_{t+1-q}^2 \quad (5)$$

Este é o modelo heteroscedástico condicional autoregressivo (ARCH) proposto por Engle. Bollerslev (1986) ajustou um modelo GARCH que viabilizava considerar estruturas de longa memória e com defasagens mais flexíveis, que pode ser definido como:

$$\varepsilon_t | \psi y_{t-1} \sim (0, h_t) \quad (6)$$

$$h_t = \alpha_0 + A(L) \varepsilon_t^2 + B(L) h_t$$

Para Bollerslev (1986), a série será estacionária se $E(\varepsilon_t) = 0$, $Var(\varepsilon_t) = \alpha_0 (1 - A(1) - B(1))^{-1}$ e $cov(\varepsilon_t, \varepsilon_s) = 0$ para $t \neq s$ se, $A(1) - B(1) < 1$, e a identificação de um processo GARCH pode ser feita por meio das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial.

Após levantamento preliminar da literatura, foi identificado que não somente a investigação da volatilidade é relevante, mas também o efeito de “transbordamento da volatilidade” (*spillover*). Assim, em muitos estudos, os modelos GARCH multivariados têm sido amplamente utilizados justamente quando o objetivo é investigar a transmissão de correlação e os efeitos de transbordamento (*spillover*) em estudos de contágio (Silvennoinen; Terasvirta, 2008). Nesse sentido, modelos GARCH multivariados desempenham um papel importante tanto na alocação de recursos quanto na seleção de portfólios segundo Lopes (2006).

Assim, aplicou-se, no presente estudo, um modelo GARCH multivariado com a especificação BEKK. A especificação BEKK, no contexto dos modelos GARCH Multivariados, se justifica

peelo número reduzido de parâmetros estimados e por ser um dos mais utilizados na literatura para volatilidade de transbordamento de contágio. Assim, o modelo foi estimado de acordo com a equação a seguir.

$$H_t = C^{*'}C^* + \sum_{k=1}^K A_K^{*'} e_{t-1} e'_{t-1} A_K^* + \sum_{k=1}^K G_K^{*'} H_{t-1} G_K^* \quad (7)$$

Em que C^* , A_K^* e G_K^* são $N \times N$ matrizes em que C^* é uma matriz triangular superior. Os parâmetros do modelo BEKK não têm relação com as volatilidades passadas dos valores ou correlações entre conjuntos. Restrições à identificação de um modelo BEKK com $K=1$ são impostas às matrizes A_K^* , 11 e G_K^* , 11 , que também deve ser positiva, além dos elementos diagonais, que também devem ser positivos. Com o objetivo de reduzir o número de parâmetros no modelo BEKK, segundo Vartanian (2020) é possível aplicar o modelo diagonal BEKK, em que as matrizes A_K^* e G_K^* são diagonais. A aplicação do modelo é realizada na próxima seção.

4. Resultados e Discussão

Para a estimativa tanto do modelo GARCH univariado quanto do modelo GARCH multivariado é necessário que as séries sejam estacionárias. Isso significa que é preciso utilizar o retorno dos ativos, como, por exemplo, o retorno do Ibovespa, ao invés das séries em nível, como a pontuação do índice de ações. Nesse sentido, as estatísticas descritivas para cada série de retorno são apresentadas na Tabela 1, em que são apresentadas a média, mediana, máximo, mínimo, desvio padrão, assimetria e curtose para cada série. Considera-se como retorno a diferença logarítmica aplicada a uma série. Foram gerados os retornos dos índices de cada Bolsa selecionada e do VIX, cujos resultados das estatísticas descritivas são apresentados na Tabela 1. É possível também observar a evolução temporal dos retornos na Figura 2.

Tabela 1. Estatística Descritiva dos retornos.

	VIX	CAC	DAX	INDU	IBOV	IPSA	UKX	MEXBOL
Média	0.000224	0.000351	0.000300	0.000459	1.88E-05	-0.000181	7.89E-05	0.000118
Mediana	-0.004655	0.000674	0.000535	0.000491	0.000769	0.000000	0.000192	0.000000
Máximo	0.768245	0.081119	0.104701	0.107643	0.138832	0.112967	0.100929	0.058775
Desvio Padrão	0.083650	0.012185	0.012481	0.012532	0.022779	0.017405	0.011680	0.015086
Curtose	12.11014	22.29374	21.87428	29.12604	17.19724	22.52977	24.38800	9.237645
Jarque-Bera	5048.892	20581.25	19563.34	37398.95	11434.86	21044.11	25205.93	2301.571
Probabilidade	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Observações	1304	1304	1304	1304	1304	1304	1304	1304

Fonte: Elaboração própria com base nos cálculos efetuados no pacote econométrico Eviews 9.

Conforme se verifica na Tabela 1, todas as séries objetos de análise tem curtose elevada, o que é esperado para série temporais financeiras que normalmente apresentam distribuição leptocúrtica.

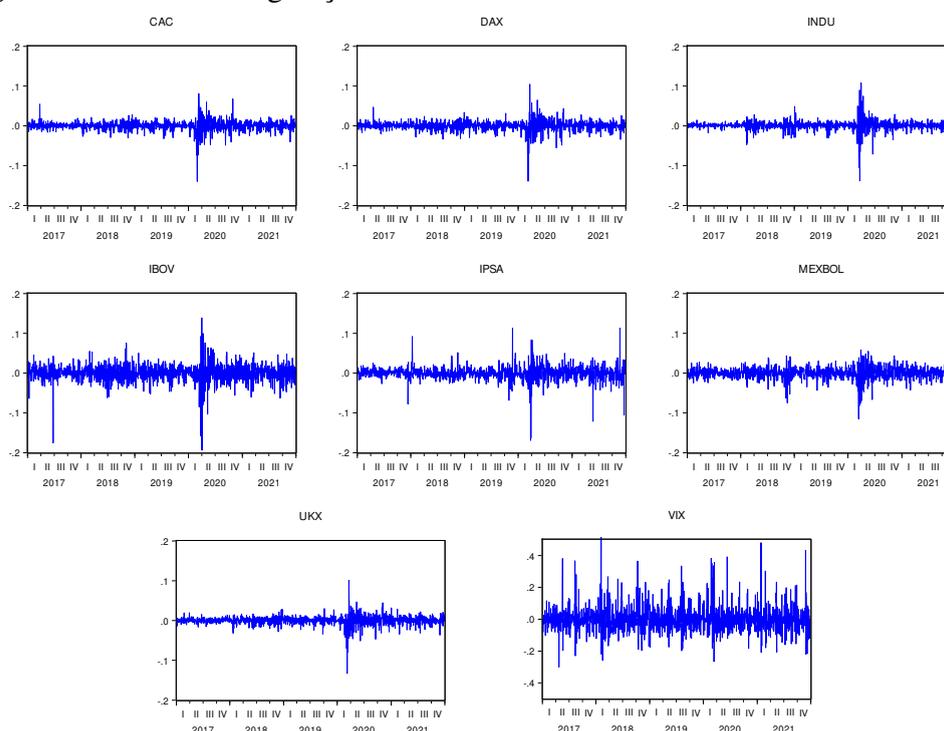
Tabela 2. Matriz de correlação de retornos dos índices de bolsas e VIX.

	R_CAC	R_DAX	R_IBOV	R_INDU	R_IPSA	R_MEXBOL	R_UKX	R_VIX
R_CAC	1	-0,051089	-0,03307	-0,058706	-0,045853	0,056768	-0,115246	0,000365
R_DAX	-0,051089	1	0,003523	0,143265	-0,005944	-0,126877	0,375192	-0,049151
R_IBOV	-0,03307	0,003523	1	-0,070362	0,063717	-0,019332	0,027783	0,001971
R_INDU	-0,058706	0,143265	-0,070362	1	0,043882	0,038491	0,108577	0,038835
R_IPSA	-0,045853	-0,005944	0,063717	0,043882	1	0,027001	0,015408	0,000826
R_MEX	0,056768	-0,126877	-0,019332	0,038491	0,027001	1	-0,12813	-0,043493
R_UKX	-0,115246	0,375192	0,027783	0,108577	0,015408	-0,12813	1	-0,053617
R_VIX	0,000365	-0,049151	0,001971	0,038835	0,000826	-0,043493	-0,053617	1

Fonte: Elaboração própria com base nos cálculos efetuados no pacote econométrico Eviews 9.

Observa-se, conforme a Tabela 2, que o índice VIX teve correlação de retornos positiva com os índices CAC, Ibovespa, INDU e IPSA, ou seja, tais índices não apresentaram a correlação esperada com relação ao índice VIX no período analisado pois apresentaram elevação com a alta do VIX. Esse fenômeno pode ter ocorrido em razão do mecanismo de realocação de atenção dos investidores, que mudam seu foco conforme ocorrem mudanças nas condições financeiras. Desse modo, analisando-se os retornos dos índices de bolsa com eixo normalizado de acordo com a Figura 2, ficou claro que o índice VIX apresentou, em todo o período, volatilidade maior quando comparado aos retornos dos índices de bolsa apresentados, seguido pelo índice Ibovespa. Ainda que o índice Ibovespa apresente menor volatilidade do que o próprio índice VIX, sua volatilidade ainda é superior aos outros índices de Bolsa. Além disso, todos os índices de bolsa apresentaram volatilidade maior e com destaque apenas no início da pandemia de Covid-19, em meados de março de 2020, sendo que em outros períodos apresentaram volatilidades pontuais e em períodos distintos, quando analisados de forma comparativa.

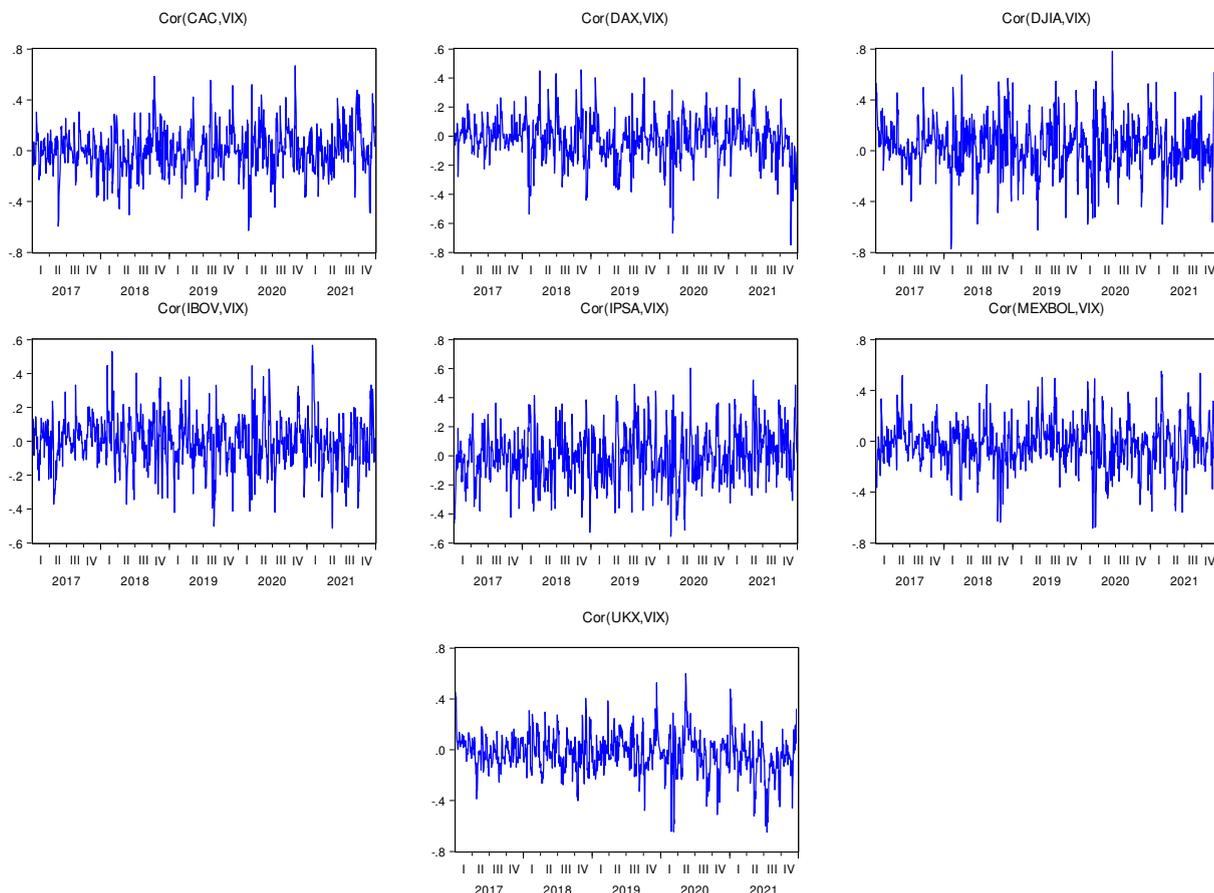
Figura 2. Resultado da geração de retornos dos índices de Bolsa analisados.



Fonte: Elaboração própria com base nos cálculos efetuados no pacote econométrico Eviews 9.

Foi estimado, de acordo com a metodologia apresentada anteriormente, um modelo GARCH com especificação BEKK que incluiu todos os retornos dos índices das bolsas de valores e o VIX (CAC, DAX, INDU, IBOV, IPSA, UKX, MEXBOL e o VIX). Com a estimativa do Modelo GARCH multivariado e a geração da correlação condicional entre o índice VIX e os retornos das bolsas de valores, esperava-se encontrar uma relação inversa mais forte do índice VIX sobre os demais índices de bolsa ao longo do período analisado, com uma diminuição (aumento) no valor do índice de bolsa, diante de um aumento (diminuição) na volatilidade esperada do mercado (Fleming et. al, 1995). Nesse contexto, por meio da Figura 3, que mostra os resultados do Modelo GARCH multivariado por meio da correlação condicional entre as variáveis, é possível observar, contudo, que a correlação condicional entre o índice VIX e os índices de Bolsas de Valores dos países não foi tão negativa como se imaginava a princípio, sendo mais notória no auge da crise trazida pela pandemia de Covid-19.

Figura 3. Evolução da correlação condicional do índice VIX e os índices de Bolsas de Valores.



Fonte: Elaboração própria com base nos cálculos efetuados no pacote econométrico Eviews 9.

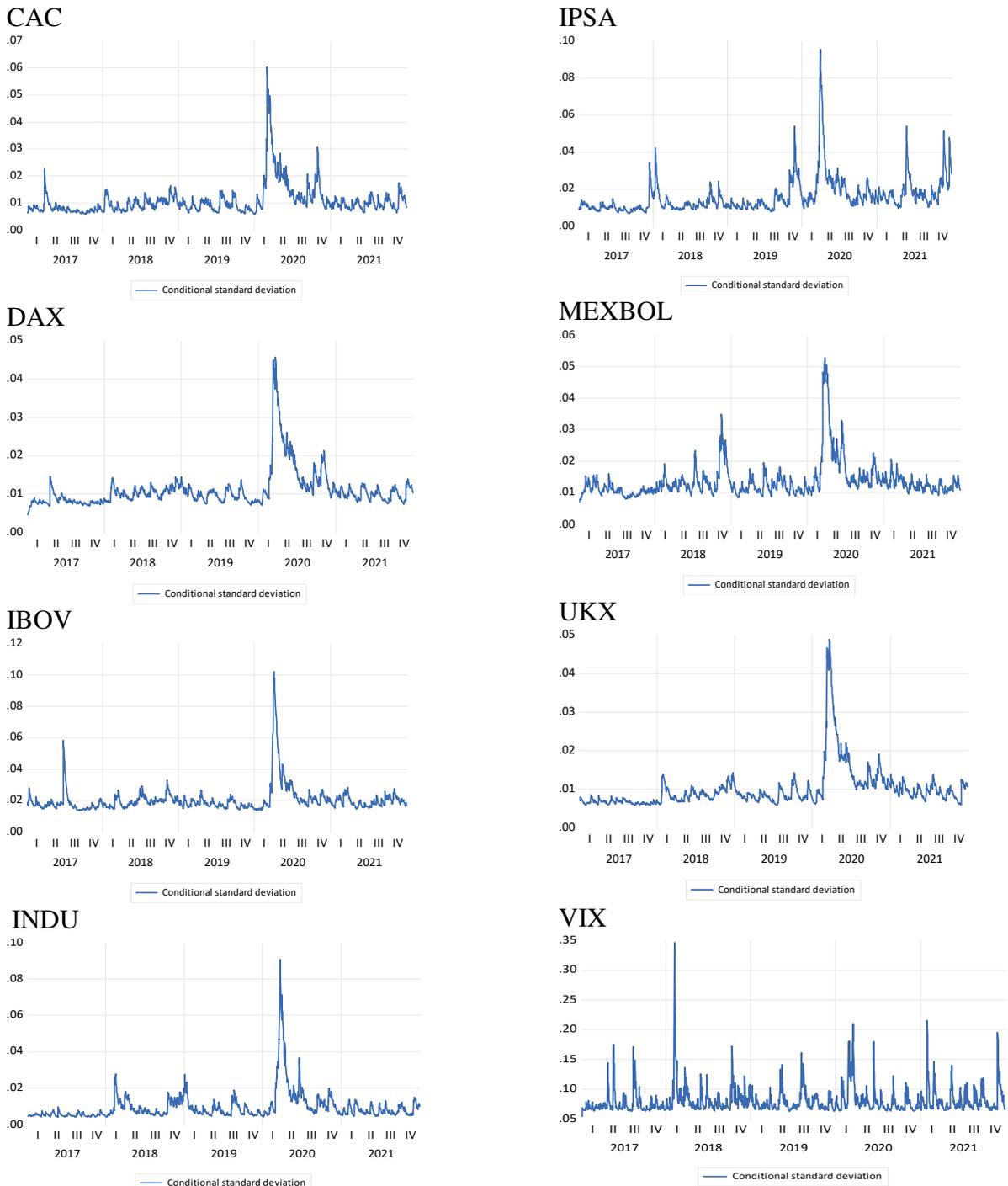
Tabela 3. Correlações negativas entre o índice VIX e os demais índices de bolsa.

Data	(VIX, INDU)	Data	(VIX, DAX)	Data	(VIX, CAC)	Data	(VIX, MEXBOL)
02/06/2018	-0,67	02/06/2018	-0,43	18/05/2017	-0,32	10/11/2018	-0,33
26/06/2018	-0,42	12/05/2018	-0,31	26/02/2020	-0,38	11/08/2018	-0,28
10/11/2018	-0,42	25/02/2020	-0,30	30/11/2021	-0,29	28/02/2020	-0,38
14/05/2019	-0,53	03/10/2020	-0,59			13/03/2020	-0,63
10/09/2019	-0,34	11/05/2020	-0,26			13/05/2021	-0,29
02/03/2020	-0,44	20/09/2021	-0,20			21/06/2021	-0,23
03/12/2020	-0,31	29/11/2021	-0,50				
31/03/2020	-0,33						
14/07/2020	-0,28						
16/11/2020	-0,24						
03/08/2021	-0,33						
29/11/2021	-0,46						
Data	(VIX, UKX)	Data	(VIX, IBOV)	Data	(VIX, IPSA)		
10/07/2019	-0,23	25/04/2017	-0,23	30/10/2017	-0,21		
25/02/2020	-0,46	15/08/2019	-0,22	13/12/2017	-0,21		
27/10/2020	-0,24	26/08/2019	-0,31	06/04/2018	-0,22		
05/11/2021	-0,25	12/03/2019	-0,22	25/12/2018	-0,23		
20/07/2021	-0,32	28/02/2020	-0,25	29/05/2019	-0,21		
12/01/2021	-0,38	03/04/2021	-0,22	28/02/2020	-0,31		
		29/09/2021	-0,27	31/03/2020	-0,20		
				01/08/2020	-0,20		

Fonte: Elaboração própria com base nos cálculos efetuados no pacote econométrico Eviews 9.

As correlações negativas do índice VIX mais evidentes na correlação condicional estimada, apresentadas na Figura 3, podem ser visualizadas apenas pontualmente no comportamento dos índices. Assim, a Tabela 3 mostra algumas datas e a respectiva correlação condicional negativa dos índices mais pronunciada, extraídas das estimativas apresentadas na Figura 3. Nesse contexto, é possível destacar os índices Mexbol, INDU, UKX e DAX com algumas datas de forte correlação condicional negativa com o índice VIX. O Ibovespa, entre todos os índices, inclusive, foi o que menos sofreu, em média, correlação condicional negativa com o índice VIX, o mesmo acontecendo com o índice IPSA.

Figura 4. Estimativa de Desvio Padrão Condicional – Modelo GARCH (1,1) univariado



Fonte: Elaboração própria com base nos cálculos efetuados no pacote econométrico Eviews 9.

Quadro 2. Eventos atípicos apurados a partir da Figura 4, nos índices VIX, CAC, DAX, INDU, IBOVESPA, MEXBOL, IPSA e UKX.

Índice	Data	Evento	Índice	Data	Evento
VIX	18/05/2017	Queda da Bolsa de valores dos EUA - dúvidas sobre implementações da política de Trump	INDU	15/02/2018	Abertura em queda pós feriado. Aumento de IPC com chance de elevar juros
	07/02/2018	Receio de aceleração global da inflação		03/01/2019	Receio de desaceleração econômica da China
	08/02/2018	Receio da guerra tarifária com a China		16/03/2020	Covid-19
	25/02/2020	Covid-19		23/03/2020	Covid-19
	17/03/2020	Covid-19		31/03/2020	Covid-19
	12/06/2020	Nova onda de Covid-19		14/04/2020	Covid-19 e impactos econômicos
	28/02/2021	Queda da bolsa de valores dos EUA/ <i>bull market</i> e interesse pela <i>GameStop</i>		16/04/2020	Busca de investidores por proteção via tesouro americano e dólar
	29/11/2021	Nova cepa de Covid-19 na África do Sul		18/06/2020	Queda das bolsas em razão de aumento do seguro-desemprego e aumento de Covid-19
CAC	27/03/2017	Queda da Bolsa da Europa acompanhando a dos EUA (abandono do <i>Trumpcare</i>)	IPSA	13/12/2017	Questões de alteração na previdência
	14/02/2020	Covid-19		25/11/2019	Protestos populares
	02/03/2020	Queda da Bolsa da Europa - OCDE revisando para baixo o crescimento global		30/03/2020	Covid-19
	06/03/2020	Covid-19		25/05/2021	Questões sobre o imposto sobre o ganho do cobre
	04/05/2020	Covid-19 e tensões comerciais entre EUA x China		24/11/2021	Eleições locais
	29/10/2020	Avanço de Covid-19			
DAX	06/03/2020	Covid-19	MEXBOL	11/07/2018	Guerra comercial China e EUA
	10/03/2020	Queda da bolsa Brasileira acompanhando a queda da Bolsa dos EUA		14/11/2018	Novo presidente eleito
	20/03/2020	Covid-19		11/03/2020	Covid-19
	12/05/2020	Novos casos de Covid-19 e repercussão da piora das relações entre EUA e CHINA		01/04/2020	Covid-19
	28/05/2020	Covid-19 gerando necessidade de subsídios		06/04/2020	Tensão entre o cartel de energia e g20 - queda de preço de petróleo
	26/10/2020	Receio de nova onda de Covid-19		15/06/2020	Risco de novos casos de Covid-19
				12/11/2020	Conferência ECB 2020
IBOV	26/06/2017	Instabilidade da política brasileira, receios com o governo Michel Temer	UKX	26/02/2020	Covid-19
	06/11/2018	Receios sobre a capacidade de implementação de reformas		05/03/2020	Aumento de Covid-19
	05/03/2020	Covid-19		20/03/2020	Medidas de enfrentamento ao Covid-19
	26/03/2020	Covid-19 / <i>Seis circuit breaker</i>		13/05/2020	Queda da bolsa acompanhando a queda da bolsa de valores dos EUA pós discurso de Jerome Powell
	02/04/2020	Aumento de casos de Covid-19		06/06/2020	Covid-19 atrasa reabertura prevista
	04/04/2020	Movimento global de aversão a risco, dólar subindo e Ibovespa recuando		09/11/2020	Presidente do Banco Central esboça preocupação com saída da União Europeia
	22/04/2020	Clima tenso entre o Presidente e o Congresso afastando investidores			
	14/05/2020	Turbulência política com possibilidade de demissão de Moro pelo Presidente, aumento de dólar			

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados obtidos no pacote econométrico Eviews 9 e pesquisa no jornal eletrônico Valor Econômico e Bloomberg.

Como complemento à análise multivariada, foram estimados modelos GARCH univariados (GARCH 1,1) para cada uma das bolsas de valores selecionadas (CAC, DAX, INDU, IBOV, IPSA, UKX, MEXBOL) com o objetivo de se obter o desvio padrão condicional de cada um dos índices e buscar relações dos picos de desvio padrão condicional com os picos do VIX. A volatilidade é entendida, nesse contexto, como sendo uma medida da dispersão das cotações dos ativos subjacentes em relação à sua média, durante um determinado período de tempo, geralmente calculada por meio do desvio padrão da variação das cotações. Com base nas estimativas, mostradas na Figura 4, analisou-se qualitativamente os eventos anormais de cada índice de Bolsa e também do índice VIX, ou seja, os eventos de maior volatilidade (picos acima de 0,02) para cada índice, conforme apresentado no Quadro 2.

Com base no levantamento de fatos ocorridos em cada evento atípico, foi possível concluir que não houveram coincidências entre os eventos atípicos dos índices das Bolsas de Valores analisadas com os eventos atípicos do índice VIX. Na verdade, foram identificados somente alguns poucos eventos atípicos com datas não coincidentes, apesar de próximas, conforme mostra a Tabela 4. Com base nos levantamentos e análise dos eventos atípicos do índice VIX e dos índices INDU e MEXBOL, presentes na Tabela 4, observa-se que todos ocorreram em razão da crise provocada pela pandemia de Covid-19. Assim, não é possível apontar uma influência direta do índice VIX nas bolsas analisadas.

Tabela 4. Eventos atípicos entre os índices VIX, INDU e MEXBOL com datas não coincidentes, mas com proximidade de datas de ocorrência.

Índice	Data	Evento
VIX	17/03/2020	Covid-19
INDU	16/03/2020	Covid-19
VIX	12/06/2020	Nova onda de Covid-19
MEXBOL	15/06/2020	Riscos de novos casos de Covid-19
INDU	18/06/2020	Bolsa operando em queda - aumento da Covid-19

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados obtidos no pacote econométrico Eviews 9 e pesquisa no jornal eletrônico Valor Econômico e Bloomberg.

Desse modo, em razão das análises realizadas por meio do uso de modelos GARCH univariado e GARCH multivariado, apurou-se como resultado a existência de correlação negativa entre o índice VIX e os demais índices das bolsas de valores analisadas apenas de forma pontual e pronunciada no auge da pandemia causada pela Covid-19. Fora do período de pandemia, o índice VIX não guardou a esperada correlação negativa com os demais índices de bolsa de valores no período analisado e parece servir mais para viabilizar operações de derivativos do que como um instrumento efetivamente preditivo dos movimentos futuros do mercado, como já havia sido ponderado no estudo de Vodenska e Chambers (2013), que no período de 1990 a 2009, apuraram que o índice VIX superestimou a volatilidade do S&P500 durante regimes estáveis no mercado financeiro, e até subestimou a volatilidade do S&P500 em períodos de alta volatilidade. Ceylan (2021), por outro lado, analisando a dinâmica das correlações de retorno de ações entre os Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha e França, concluiu que um choque no VIX leva sim a aumentos nas correlações na semana seguinte, que por sua vez caem na segunda semana após o choque e que o padrão temporal revelado do efeito do índice VIX pode ser explicado mais por uma estrutura comportamental por meio de mecanismos de realocação da atenção dos investidores.

Cheng (2020) também observou que, a partir de março, enquanto os casos de Covid-19 estavam aumentando rapidamente na Europa e havia relatos de disseminação do vírus e mortes nos Estados Unidos, o S&P500 caiu ligeiramente ao mesmo tempo em que o índice VIX subiu de 14 para 33. Peng e Ng (2009) analisaram o comportamento do S&P 100, S&P

500, Nasdaq 100, DJIA e os índices DAX, CAC 40, FTSE, DJ Euro Stoxx 50 e SMI, entre 2001 e 2009, e, complementarmente, do VIX e do VXO, por diferentes métodos, e também concluíram que há aumento da dependência durante períodos de crise financeira, com efeito contágio, mas com movimentos de valores extremos e ascensão superior dos índices de volatilidade VIX e VXO, a partir de 2006. Tal comportamento, no entanto, não guardou correspondência com os demais índices analisados.

O presente estudo certamente não teve o objetivo de esgotar o tema. Em algumas pesquisas recentes, é possível perceber a ampliação das análises envolvendo volatilidade e o efeito contágio em razão de crises, com aplicação, por exemplo, de cópulas, como na pesquisa de Chollete et. al (2005). Os autores, ao analisarem o comportamento do G5 (Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido, França e Japão), bem como do Brasil, Argentina, Chile, México, Hong Kong, Cingapura e Taiwan, entre 1990 e 2002, tiveram resultados que demonstram que os países do G5 possuem dependência assimétrica e, os demais, assimetria da dependência. Isso significa que os países desenvolvidos têm potencial de queda menor do que os em desenvolvimento, permitindo novas possibilidades de estudos futuros que tratam de volatilidade e efeito contágio em períodos principalmente de crise, notadamente como foi o caso da crise sanitária provocada pela pandemia de Covid-19.

5. Considerações Finais

A presente pesquisa teve o objetivo de analisar, de forma comparativa, a influência do Índice Vix, conhecido como o “Índice do Medo” sobre os principais mercados acionários de países emergentes da América Latina (Brasil, Chile e México), e, também, de alguns dos países desenvolvidos do G7 (Estados Unidos, Alemanha, França e Reino Unido). A pesquisa mostra sua relevância na medida em que permite compreender como, e em que medida, o índice VIX, elaborado pelo Chicago Board Options Exchange (CBOE) realmente impacta o mercado acionário em um período singular, de janeiro de 2017 a dezembro de 2021. O período em questão contempla não somente os efeitos da crise sanitária causada pela Covid-19, analisados até o final de 2021, como também o período pré-pandemia, o que permitiu também uma análise comparativa entre um período sem grandes choques (período pré-pandemia) com um período em que ocorreu um aumento da desconfiança pelos investidores praticamente sem precedentes na história.

De fato, o recente surto de Covid-19 gerou significativa volatilidade nos mercados financeiros, contagiando globalmente o mercado acionário com receios e incertezas. No início da pandemia, o índice VIX subiu mais de 80 em 16 de março de 2020, superando seu recorde de 2008. Os índices S&P 500 e Nasdaq Composite, por sua vez, caíram 12% em 16 de março de 2020. O Dow Jones Industrial Average (DJIA) caiu mais de 12%, marcando o segundo pior dia em seus 124 anos. Mas essas razões não explicam totalmente a notável volatilidade, o que justifica a necessidade de desenvolvimento de mais estudos sobre o tema.

E foi justamente por este motivo que o Índice VIX foi escolhido para ser objeto de estudo na presente pesquisa. Ainda que o VIX esteja atrelado ao mercado financeiro dos Estados Unidos, suas variações podem impactar outras economias do mundo, já que é um índice notoriamente reconhecido como uma das melhores ferramentas existentes para a análise da aversão a risco dos investidores frente aos cenários existentes. Não obstante, já foi constatado que o índice VIX é afetado em grande parte até mesmo pela condução da política monetária dos EUA.

Para alcançar o objetivo pretendido, utilizou-se o modelo econométrico GARCH univariado e GARCH multivariado analisando-se, de forma comparativa, a influência do VIX sobre as bolsas de valores alvos do estudo. O índice VIX demonstrou, no período selecionado, muito mais volatilidade quando analisado, de forma comparativa, à performance dos demais índices das bolsas de valores, seguido apenas pelos índices INDU e Ibovespa. Além disso, também entre os resultados encontrados, identificou-se que não há, como regra geral, correlação negativa tal

como se esperava encontrar entre os índices das bolsas de valores sob análise no período compreendido entre o primeiro dia do mês de janeiro de 2017 e o último dia do mês de dezembro de 2021. A correlação negativa somente pode ser observada no auge da crise provocada pela pandemia de Covid-19, o que permite refutar a hipótese inicialmente formulada na pesquisa. Tal fato já foi observado em outras crises, em que um choque no índice VIX levou a um aumento pontual das correlações entre bolsas internacionais que tende logo a diminuir, conforme já abordado em Ceylan (2021). De fato, longe de se encontrar uma regra geral em que se observaria uma reação de queda dos mercados acionários como resposta às altas do VIX, o que se verificou foi o inverso, na medida em que, em muitos casos, ocorreu uma alta das bolsas em momentos de alta do VIX, como pode ser claramente observado na análise da correlação condicional estimada pelo modelo GARCH multivariado entre as bolsas e o VIX.

Complementarmente, eventos atípicos obtidos por meio da análise do desvio padrão condicional das bolsas estimados com o uso de um modelo GARCH univariado permitiu constatar que não há uma relação clara entre os picos do VIX com os picos de volatilidade das Bolsas de Valores. A análise permitiu verificar que relações entre os picos do VIX e da volatilidade das bolsas raramente ocorreram em datas próximas. Isso foi observado apenas em março de 2020 (apenas com o índice INDU) e em junho de 2020 (com os índices MEXBOL e INDU). A influência do índice VIX sobre os demais índices de bolsas que foram objeto do estudo foi, portanto, sentida apenas nos períodos de crise acentuada, notadamente no cenário da pandemia da Covid-19, conforme apurado nos resultados das estimativas.

Entre as dificuldades enfrentadas no processo de pesquisa pode-se destacar a escassez de estudos econométricos que tenham contemplado os efeitos do VIX sobre os mercados acionários globais, ainda mais no período da crise provocada pela pandemia causada pela Covid-19. Como sugestão, para futuros estudos, destaca-se a necessidade de pesquisas que abordem também outros índices de volatilidade oferecidos pelo CBOE (VSTOKK e VXJ, entre outros), além dos efeitos de variáveis macroeconômicas, financeiras, políticas (por exemplo, o impacto do *quantitative easing* sobre o VIX e a sincronização do mercado acionário) e até mesmo a contribuição do aspecto comportamental dos investidores incluindo o sentimento do mercado sobre a volatilidade. Outras possibilidades de desenvolvimento incluem aprofundamento das pesquisas tanto nas metodologias aplicadas no presente estudo, quanto na aplicação de outras metodologias, como cópulas bivariadas e redes bayesianas. Diante da relevância do tema e das possibilidades existentes, incluem-se tais tópicos como relevantes na agenda de pesquisa futura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGYEI, SK. et al. “Spillovers and contagion between BRIC and G7 markets: New evidence from time frequency analysis. Newcastle University”. **Journal Plos One**, 2022.
- AKHTARUZZAMAN, Md et al. “Financial Contagion during the Covid-19 crisis”. **Finance Research Letters**. V. 38, 2020.
- AMITRANO, Claudio et al. Medidas de enfrentamento dos efeitos econômicos da pandemia Covi-19: Panorama Internacional e análise dos casos dos Estados Unidos, do Reino Unido e da Espanha. Texto para discussão 2559. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 2020.
- AZEVEDO, Luis Fernando Pereira; PEREIRA, Pedro L. Valls. Testando o poder preditivo do VIX: uma aplicação do modelo de erro multiplicativo. **Revista Brasileira de Finanças**. v. 13, n. 4, p. 544-570, 2017.
- AZIZ, Tariq et. al. “**Volatility Spillover Among Equity and Commodity Markets**”. Disponível em: < <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2158244020924418> 2020 >. Acesso em: 10 de abr. 2022.
- BEKAERT, G.; HOEROVA, M.; LO DUCA, M. Risk. “Uncertainty and monetary policy”. **Journal of Monetary Economics**, v. 60, p. 771-788, 2013.
- BENACHENHOU, Abdellatif. Países Emergentes. 2011. Disponível em: http://funag.gov.br/loja/download/1017-Paises_Emergentes.pdf.>. Acesso em: 01 mai. 2022.
- BERA, A.; JARQUE, C. “Efficient test for normality, heterocedasticity and serial independence of regression residuals”. **Econometrics Letters**, v. 6, p. 255–259, 1980.
- BOLLERSLEV, Tim. “Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity”, **Journal of Econometrics**, v.31. p. 307-327, 1986.
- BRENNER, Menachem; GALAI, Dan. “**New financial instruments for hedging changes in volatility**”, *Financial Analysts Journal*, p. 61-65, 1989.
- CEYLAN, O. “Dynamics of global stock market correlations: the VIX and attention allocation”. **Journal of applied economics**. v. 24, p. 392-400, 2021.
- CHANDRA, Abhijeet; THENMOZHI, M. “On asymmetric relationship of India volatility index (India VIX) with stock market return and risk management”. **Research Paper**. p. 33-35, 2015.
- CHENG, Ing-Haw. “**Vix clues show how stock investors underpriced the risk of the coronavirus pandemic**”. Marketwatch. 2020. Disponível em: <<https://www.marketwatch.com/story/how-stock-investors-underpriced-the-risk-of-the-coronavirus-pandemic-2020-04-03>>. Acesso em: 21 abr. 2022.
- CHINAGLIA, Pedro Henrique. A vulnerabilidade da globalização financeira: um estudo sobre os impactos da pandemia coronavírus na economia global neoliberal em 2020. Espaço e Economia. **Revista Brasileira de geografia econômica**. Open Edition Journals, p. 1-20, 2021.
- CHOLLETE, L. de La Peña, V., e LU, C. “Comovement of International Financial Markets”, **Working Paper**, Columbia University, 2005.
- CHOW, K., JIANG, W. & Li. “Does VIX truly measure return volatility?”. **SRRN Electronic Journal**, p. 1-35, 2014.

- CORSETTI, G.; PERICOLI, M., SBRACIA, M., “Some contagion, some interdependence: more pitfalls in tests of financial contagion,” **Journal of International Money and Finance**, p. 1177–1199, 2005.
- DORNBUSCH, R.; PARK, Y. C.; CLAESSENS, S. “Contagion: Understanding How It Spreads”, **The World Bank Observer**, v. 15, p. 177–197, 2000.
- ENGLE, R. F. "Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation." **Econometrica**, p. 987-1007. 1982.
- FASSAS, Athanasios P. “The relationship between VIX futures term structure and S&P 500 returns”, **Review of Futures Markets**, 2012.
- FERNANDES, Nuno. “**Economic Effects of Coronavirus Outbreak (COVID-19) on the World Economy**”. 2020. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3557504> Acesso em: 05 set. 2021.
- FLEMING et al. Predicting stock market volatility: a new measure. **Journal of futures markets**, v. 15, p. 265-302, 1995.
- FORBES, K.; RIGOBON, R. “No contagion, only interdependence: measuring stock market comovements”, **The Journal of Finance**, v. LVII, p. 2223–2261, 2002.
- GIOT, O. “Relationships between implied volatility indexes and stock index returns”. **Journal of Portfolio Management**, v. 31, p. 92-100, 2005.
- HERNÁNDEZ, L.; VALDÉS, R. O., “What Drives Contagion: Trade, Neighborhood, or Financial Links?” **IMF Working Paper**, p. 1–22, 2001.
- IBIKUNLE, Gbenga; RZAYEV, Khaladdin. “Volatility, dark trading and market quality: evidence from the 2020 Covid-19 pandemic-driven market volatility”, **The London School of Economics and Political Science**, v. 95, 2020.
- KAROLYI, G.A., STULZ, R.M. “Are financial assets priced locally or globally? In G. M. Constantinides, M. Harris, & R. M. Stulz (Eds.)”, **Handbook of the economics of finance**, North-Holland: Elsevier, p. 975–1020, 2003.
- MENSI, Walid et al. “Global financial crisis and spillover effects among the U.S. and BRICS stock markets”. **International review of Economics & Finance**, v. 42, p. 257-276, 2016.
- PENG, Y., NG, W. L. "Measuring Financial Contagion with Copulas." **Proceedings of 2009 Far East and South Asia Meeting of the Econometric Society**. 2009.
- SARWAR, G. “Is Vix an investor gauge in BRIC Equit Markets?”, **Journal of Multinational Financial Management**, v.22, p. 55-65, 2012.
- SILVENNOINEN, Annastiina; TERASVITA, Timo. “Multivariate Garch Models”. **Research Paper**, 2008.
- VARTANIAN, Pedro Raffy. “Volatility spillover effect from commodities to Brazilian stock markets in the period 2000-2016: is there possibility of diversification?” **International Economics and Economic Policy**, 2020.
- VODENSKA, I.; CHAMBERS, W.J. “Understanding the relationship between VIX and the S&P 500 Index Volatility”. 26th Australasian Finance and Banking Conference, **SSRN Papers**, 2013.