



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E
CONTABILIDADE – FEAAC
PROGRAMA DE ECONOMIA PROFISSIONAL – PEP

RODRIGO REGO MEDEIROS

TRANSMISSÃO DE RISCO ENTRE OS MERCADOS DE COMMODITIES: UMA
ANÁLISE TVP-VAR E QVAR

FORTALEZA

2024

RODRIGO REGO MEDEIROS

TRANSMISSÃO DE RISCO ENTRE OS MERCADOS DE COMMODITIES: UMA
ANÁLISE TVP-VAR E QVAR

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Economia Profissional – PEP, da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Rogério Faustino Matos

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M44t Medeiros, Rodrigo Rego.
Transmissão de risco entre os mercados de commodities: uma análise TVP-VAR e QVAR /
Rodrigo Rego Medeiros. – 2024.
34 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia,
Administração, Atuária e Contabilidade, Mestrado Profissional em Economia do Setor Público,
Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Rogério Faustino Matos.

1. QVAR. 2. Transmissão de choques. 3. Commodities. 4. Ciclos. 5. Volatilidade. I. Título.

CDD 330

RODRIGO REGO MEDEIROS

TRANSMISSÃO DE RISCO ENTRE OS MERCADOS DE COMMODITIES: UMA
ANÁLISE TVP-VAR E QVAR

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Economia Profissional – PEP, da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Aprovada em: **8 de fevereiro de 2024.**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Rogério Faustino Matos (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cristiano da Costa da Silva
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Dr. Igor Macedo de Lucena
Conselho Regional de Economia do Ceará (CORECON-CE)

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial minha esposa, Taís Barreto, que esteve sempre ao meu lado nessa trajetória, me incentivando e me fazendo acreditar que esse sonho era possível.

Aos meus queridos amigos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu pudesse superar todos os desafios e concluir mais essa etapa em minha vida.

Ao meu orientador Professor Paulo Rogério Faustino Matos pela confiança depositada, pelos ensinamentos e por sua dedicação. Aos membros da Banca pela contribuição no Trabalho.

RESUMO

O estudo avalia o impacto do efeito de contágio sobre a formação de preços de um amplo grupo de *commodities*. Utilizando um modelo *Quantile VAR* (QVAR) com janelas móveis, a partir de uma variação da metodologia de Diebold e Yilmaz (2009, 2012 e 2014), foi capturado o efeito de transbordamento de inovações em diversos mercados de *commodities* - energia, alimentos, bebidas, matérias-primas, fertilizantes, metais e minerais e metais preciosos - oferecendo um prognóstico dinâmico tanto no tempo quanto ao longo da distribuição de retorno dos preços. A partir da decomposição do erro de previsão das séries de retorno dos preços das *commodities*, conforme proposto por Parkinson (1980), a análise de dados mensais de 1970 a 2023 revela uma conectividade acentuada nas caudas da distribuição, sublinhando o papel crítico do risco sistemático em períodos de turbulência extrema do mercado.

Palavras-chave: QVAR. Transmissão de choques. *Commodities*. Ciclos. Volatilidade.

ABSTRACT

The study assesses the impact of the contagion effect on the price formation of a broad group of commodities. Using a Quantile VAR (QVAR) model with rolling windows, and a variation of the methodology from Diebold and Yilmaz (2009, 2012, and 2014), the spillover effect of innovations in various commodity markets - energy, food, beverages, raw materials, fertilizers, metals and minerals, and precious metals - was captured, offering a dynamic forecast both over time and across the price return distribution. Based on the decomposition of the forecast error of the commodity price return series, as proposed by Parkinson (1980), the analysis of monthly data from 1970 to 2023 reveals pronounced connectivity in the tails of the distribution, emphasizing the critical role of systematic risk in periods of extreme market turbulence.

Keywords: QVAR. Shock transmission. Commodities. Cycles. Volatility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Séries Temporais dos Índices de <i>Commodities</i> – Retorno Mensal.....	21
Figura 2 - Índice de Conectividade Total – Retornos dos Preços das <i>Commodities</i>	24
Figura 3 - Índice de Conectividade Total Quantílico – Retornos dos Preços das <i>Commodities</i>	27
Figura 4 - Conectividade Direcional do Índice de Energia – Retornos dos Preços.....	28
Figura 5 - Conectividade Direcional do Índice de Alimentos – Retornos dos Preços....	28
Figura 6 - Conectividade Direcional do Índice de Bebidas – Retornos dos Preços.....	29
Figura 7 - Conectividade Direcional do Índice de Matérias Primas – Retornos dos Preços.....	30
Figura 8 - Conectividade Direcional do Índice de Fertilizantes – Retornos dos Preços.....	30
Figura 9 - Conectividade Direcional do Índice de Metais e Minerais – Retornos dos Preços.....	31
Figura 10 - Conectividade Direcional do Índice de Metais Preciosos – Retornos dos Preços.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos Índices de <i>Commodities</i>	20
Tabela 2 - Estatísticas Descritivas dos Índices de <i>Commodities</i> –Retorno Mensal.....	22
Tabela 3 - Índice Cruzado de Conectividade – Retornos dos Preços das <i>Commodities</i>	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	CONEXÕES NO MERCADO DE <i>COMMODITIES</i>.....	12
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
4	METODOLOGIA – O MODELO QVAR.....	18
4.1	Base de dados.....	20
5	RESULTADOS.....	24
5.1	Conectividade por grupo de <i>commodity</i> e quantil de preços.....	26
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

No último quarto do século XX os mercados internacionais passaram por um processo de financeirização da economia, onde questões financeiras ganharam importância em detrimento do setor produtivo. Tal fato aliado ao processo de globalização dos anos de 1990 possibilitou o surgimento de mercado financeiros globais. Diante desse quadro se desenvolveu o crescimento do mercado de *commodities* (Tang; Xiong, 2012; Michelotti; Siqueira, 2019).

As commodities, conforme Lélis *et al.* (2019), são produtos básicos ou matérias-primas produzidos em grande escala e comercializados em mercados globais. O *World Bank* realiza um primeiro agrupamento destes produtos de acordo com sua natureza energética (petróleo, gás natural, carvão etc.) e não-energética (alimentos, metais e minerais, metais preciosos).

O advento de novos instrumentos financeiros, como os derivativos de *commodities* e opções, munuiu de liquidez o mercado e potencializou o uso de operações de *hedge* para assegurar maior previsibilidade à oferta e demanda, potencializando a produtividade global destes segmentos através da especialização produtiva e de economias de escala.

Entretanto, com a maior integração das economias e o novo ambiente propício a atividades especulativas tornou mais complexo o processo de determinação dos preços, existindo múltiplos fatores influenciando os respectivos equilíbrios em cada agrupamento de *commodities*. Logo, uma característica corrente no mercado de *commodities* é a volatilidade de preços, com movimentações intensas através do tempo. Tais flutuações podem ser originadas por fatores específicos, decorrentes de fatores climáticos e de política governamental local em cada caso, mas que tendem a se espalhar sobre o mercado como um todo, devido a conexões de oferta e demanda (algumas *commodities* agrícolas são utilizadas no processo energético de combustão, como a produção de biodiesel, por exemplo), integração comercial e/ou financeira, entre outros.

Outro aspecto relevante, diz respeito à influência do ciclo econômico global sobre as condições de oferta e demanda de diferentes *commodities*. Ahmadi *et al.* (2016) abordam que as *commodities* energéticas, de metais e minerais (como alumínio e cobre) são insumos básicos para a manufatura, sendo relativamente mais estado-dependentes da atividade econômica global. Já os metais preciosos (ouro, prata e platina) são considerados ativos seguros em períodos de riscos geopolíticos extremos (Baur; Smales, 2022), com sua demanda sendo majorada em períodos de crise econômica.

Desta feita, esta dissertação tem por objetivo geral estudar a interdependência no mercado de *commodities* em uma estrutura relativamente agregada, avaliando em que extensão os grupos de *commodities* apresentam-se conectados ao longo do tempo. Para isso, são utilizados os índices de Energia, Alimentos, Bebidas, Matérias Primas, Fertilizantes, Metais e Minerais e Metais Preciosos. Através desta estrutura de análise, prioriza-se a discussão sobre o papel de choques generalizados dentro de um determinado setor, distinguindo estes de movimentos idiossincráticos em bens específicos.

Em particular, espera-se contribuir à literatura ao abordar três questões complementares: i) Em qual extensão as flutuações nos preços de grupos específicos influenciam o risco sistemático do mercado de *commodities*? ii) O grau de transmissão destes choques difere ao longo do tempo em função do ciclo econômico? e; iii) O efeito de transbordamento dos choques muda em função da intensidade de variação dos preços das *commodities*?

Para endereçar a primeira pergunta, adotou-se a metodologia de Diebold e Yilmaz (2009, 2012 e 2014), a qual deriva a partir do modelo de vetores autorregressivos (VAR) medidas de conectividade entre séries temporais, com base na decomposição do erro de previsão. Os resultados indicam que inovações específicas influenciam de forma marginal a formação de preços das *commodities*, com a maior parcela da variação dos preços sendo originadas por choques próprios.

No tocante à segunda questão, procedeu-se com a estimação do modelo dinâmico de conectividade. A partir da regressão do modelo VAR em janelas móveis de 120 meses, confirmou-se que os efeitos *spillovers* respondem ao estado da economia, atingindo máximos locais em períodos vizinhos ao segundo choque do petróleo (originado em 1979), crise do subprime e da dívida soberana europeia (2007-2012) e pandemia do Covid-19/Guerra Rússia-Ucrânia (2020-2022).

Por último, mas não menos importante, adotou-se o modelo de vetores autorregressivos em quantis (QVAR) para avaliar os efeitos de transbordamento ao longo da distribuição de retorno dos preços. O modelo indicou que os *spillovers* são relativamente mais intensos em momentos de condições extremas de variação dos preços, com a conectividade elevando-se em ambos os quantis superiores (acima de 80%) e inferiores (abaixo de 20%).

Além dessa introdução, a dissertação é composta por mais cinco seções. A segunda contém um breve referencial acerca do mercado de *commodities* e da relação de transbordamento entre esses mercados. Na terceira seção há uma revisão de estudos que se debruçaram sobre a temática de conexão entre os mercados. Na quarta seção é apresentada a

metodologia que deve ser empregada para alcance dos resultados. Por fim na seção 5 tem-se os resultados do modelo e na sexta seção estão as considerações finais.

2 CONEXÕES NO MERCADO DE *COMMODITIES*

O mercado de *commodities* é amplamente reconhecido como um ambiente crucial para a comercialização de matérias-primas essenciais à economia global. Segundo Campeão, Sanches e Maciel (2020), as *commodities* abrangem uma variedade de categorias, incluindo produtos agrícolas, energéticos, minerais e metais preciosos. Tradicionalmente, a formação de preços nesses mercados é influenciada pela dinâmica de oferta e demanda dessas mercadorias.

No entanto, devido à crescente complexidade desses mercados, outros fatores também desempenham um papel significativo na determinação dos preços das *commodities*. Além da oferta e demanda, questões como geopolítica, condições climáticas, políticas governamentais, flutuações cambiais e expectativas dos investidores têm impacto direto nos preços das *commodities*.

Portanto, a formação de preços nos mercados de *commodities* é um processo multifacetado e dinâmico, que requer uma compreensão abrangente de uma variedade de fatores inter-relacionados. Essa complexidade torna esses mercados tanto desafiadores quanto emocionantes para os participantes, exigindo análises sofisticadas e estratégias de gestão de riscos eficazes.

A transmissão de choques no mercado de *commodities* refere-se à propagação de perturbações ou eventos que afetam os preços e as condições de mercado desses ativos. Esses choques podem ter várias origens, como mudanças na oferta e demanda, instabilidades geopolíticas, flutuações cambiais, condições climáticas extremas, entre outros fatores. A transmissão de choques ocorre através de diversos canais e pode afetar diferentes partes da cadeia de produção e distribuição de *commodities*, bem como outros mercados financeiros e setores da economia.

A nível de transações comerciais, o mercado de *commodities* opera em dois principais tipos de mercado: à vista e futuros. No mercado à vista, as transações envolvem a compra e venda de produtos para entrega imediata. Já no mercado futuro, o preço é negociado no presente, mas a entrega da mercadoria ocorre em algum momento futuro (Malliaris; Malliaris, 2015).

O mercado futuro é amplamente utilizado para proteger contra possíveis flutuações nos preços das *commodities*. Isso ocorre devido à alta volatilidade que é característica desse mercado ao longo do tempo. Essa volatilidade pode resultar na formação de ciclos nos preços das *commodities*, com períodos de alta (picos) e baixa (vales).

Portanto, os participantes do mercado de *commodities* utilizam o mercado futuro como uma ferramenta para gerenciar o risco de preço, permitindo que eles se protejam contra as variações de preços e garantam uma maior previsibilidade em suas operações comerciais (Gorton; Rouwenhorst, 2006).

Ainda conforme Gorton, e Rouwenhorst (2006), nos mercados futuros de *commodities*, há participantes que compram e vendem esses ativos com o objetivo principal de obter lucro por meio da variação de preços. Esses agentes podem incluir investidores institucionais, fundos de hedge e especuladores individuais, que buscam capitalizar sobre as mudanças nos preços das *commodities*.

Embora os preços das *commodities* devam teoricamente refletir os fundamentos do mercado, como oferta, demanda, custos de transporte e armazenamento, outros fatores, como as expectativas dos agentes, desempenham um papel significativo na formação desses preços. As expectativas dos investidores em relação ao futuro da economia, eventos geopolíticos, políticas governamentais e outros fatores podem influenciar as decisões de compra e venda e, por sua vez, afetar os preços das *commodities*.

Assim, o mercado futuro é um reflexo das expectativas dos participantes do mercado em relação ao futuro dos preços das *commodities*, e como essas expectativas podem influenciar o comportamento dos preços no curto e médio prazo. Esta interação entre expectativas e preços é uma característica importante dos mercados de *commodities* e contribui para a complexidade e dinâmica desses mercados (Da Silva, 2021).

Com efeito, a estrutura de equilíbrio de mercado nos mercados de *commodities* cria um ambiente propício para a transmissão de choques de preços entre diferentes mercados. Essa interconexão é fundamental para entender o fenômeno conhecido como transbordamento de preços entre *commodities*.

O transbordamento de preços refere-se à tendência de um choque de preço em uma determinada *commodity* afetar os preços de outras *commodities* relacionadas. Isso ocorre devido à interligação dos mercados por meio de fatores como substituição de produtos, competição por recursos semelhantes, efeitos de arbitragem e mudanças nas expectativas dos agentes.

Essa interconexão entre os preços das *commodities* é importante por diversos motivos. Em primeiro lugar, ela reduz a assimetria de informação entre os agentes do mercado, uma vez que os movimentos de preços em um mercado podem fornecer informações sobre a direção dos preços em outros mercados correlacionados. Além disso, a transmissão de choques de preços entre *commodities* pode ter implicações significativas para a estabilidade econômica

e financeira, especialmente em setores onde as *commodities* desempenham um papel crucial, como agricultura, energia e mineração.

Portanto, a análise do transbordamento de preços entre *commodities* é essencial para compreender a dinâmica desses mercados e suas interações complexas, proporcionando insights valiosos para investidores, formuladores de políticas e outros participantes do mercado.

Ressalta-se a crescente preocupação com a sustentabilidade e a busca por alternativas energéticas mais limpas têm impulsionado movimentos em defesa das energias renováveis e contra o uso de combustíveis fósseis. Essa tendência é de grande importância no mercado de *commodities*, pois políticas e medidas de incentivo às energias renováveis têm impacto significativo nos preços de diversas *commodities*, tanto energéticas quanto agrícolas.

No contexto energético, *commodities* como petróleo, gás natural e carvão são diretamente afetadas por mudanças nas políticas e nos padrões de consumo de energia. Por exemplo, o aumento do uso de biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, que são derivados de produtos agrícolas como milho, cana-de-açúcar e soja, pode reduzir a demanda por combustíveis fósseis e, conseqüentemente, influenciar os preços do petróleo e do gás natural.

Além disso, as políticas de incentivo às energias renováveis também podem afetar os preços de *commodities* agrícolas, uma vez que a produção em larga escala de biocombustíveis requer grandes áreas de terra para cultivo de matéria-prima agrícola, o que pode impactar a oferta e demanda de alimentos e produtos agrícolas.

Portanto, a relação entre energias renováveis, combustíveis fósseis e *commodities* agrícolas é complexa e interdependente. Mudanças nas políticas e nos padrões de consumo de energia renovável têm o potencial de causar alterações significativas nos preços das *commodities*, afetando assim diversos setores da economia global (Tiwari *et al.*, 2022).

Por sua vez, técnicas de séries temporais, como modelos de decomposição da variância, são amplamente utilizadas para analisar e mensurar os efeitos de transbordamento de risco entre diferentes mercados de *commodities*. Esses modelos permitem desagregar a variância total dos preços das *commodities* em componentes específicos, como volatilidade própria, volatilidade comum e efeitos de transbordamento de risco (Naeem *et al.*, 2021).

Através dessa decomposição, é possível entender as interconexões entre os mercados de *commodities* energéticas, como petróleo e gás natural, o mercado de biocombustíveis, como o etanol, e o mercado de *commodities* agrícolas. Isso permite avaliar a exposição e a transmissão do risco entre esses diferentes mercados, identificando se choques em um mercado específico podem afetar os preços em outros mercados. (Arouri; Nguyen, 2011).

Por exemplo, um aumento súbito nos preços do petróleo pode gerar efeitos de transbordamento de risco para o mercado de biocombustíveis, impactando os preços do etanol. Da mesma forma, eventos climáticos extremos que afetam a produção agrícola podem gerar volatilidade nos preços das *commodities* agrícolas, que por sua vez podem se propagar para outros mercados relacionados.

Portanto, o uso de técnicas de séries temporais e modelos de decomposição da variância é essencial para entender a dinâmica complexa e as interconexões entre os mercados de *commodities* e avaliar o impacto dos choques de risco em toda a cadeia de suprimentos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A análise do comportamento conjunto de variáveis econômicas e da transmissão de choques entre séries econômicas é vasta na literatura. A relação entre os choques e os transbordamentos entre os mercados de *commodities* energéticas e agrícolas é referenciada em diversos trabalhos, tanto nacionais como internacionais. Chiang e Jeon (2007) exploram o impacto dos choques nos preços do petróleo sobre o retorno e a volatilidade do mercado de ações. Eles analisam a relação entre os preços do petróleo e os retornos do mercado de ações, bem como a volatilidade associada a esses choques.

Utilizando metodologia para captar a transmissão por meio de choques, em modelos de vetores autorregressivos, Dielbold e Yulmaz (2009) propuseram uma metodologia para medir o retorno e a volatilidade de ativos financeiros e a transmissão de choques entre mercados globais de ações. Eles utilizam uma abordagem baseada em modelagem VAR para medir os efeitos de transmissão de volatilidade entre diferentes mercados. Usando a mesma metodologia Dielbold e Yulmaz (2012) investiga a direção da transmissão de volatilidade entre diferentes ativos financeiros. Eles desenvolveram uma medida direcional de previsão da transmissão de volatilidade, que foi aplicada a uma variedade de mercados financeiros. Dielbold e Yulmaz (2014) examinaram a topologia da rede de decomposições de variância para medir a conectividade entre firmas financeiras. Eles exploram como as empresas estão interconectadas e como choques em uma empresa podem se espalhar para outras através dos mercados financeiros.

A volatilidade dos preços de commodities também foi motivo de discussão para Umar *et al.* (2021), que se utilizaram da metodologia de Dielbold e Yulmaz (2009,2012,2014). Conforme os autores os preços de commodities são marcados por longos ciclos e afetados por fatores como guerra ou opções políticas. Dessa forma análises de curto prazo podem não ser eficientes para uma análise dessa volatilidade. Por isso o estudo compilou dados mensais, de 9 categorias de commodities, passando por dois séculos (1780-2020) para que se tenha uma análise robusta e que capte detalhes cíclicos de longo prazo.

O estudo fez uso de uma estrutura de conectividade, por meio de uma TVP-VAR, para captar a transmissão e a recepção de choques entre as *commodities* analisadas. Os resultados indicam que a conectividade cresce em momentos de crises e incertezas políticas. Outra conclusão do estudo foi que essa conectividade, também, cresce em choques de oferta ocasionado por *commodities*.

Por sua vez, Tiware *et al.* (2022), utilizaram o método de volatilidade variante no tempo (TVP-VAR) e quantile-VAR (QVAR) para mensurar os *spillovers* entre o mercado de energia, etanol e as commodities agrícolas. A análise VAR em quantis possibilitou analisar os efeitos da transmissão entre esses mercados tanto na alta quando na baixa desses mercados.

O transbordamento da volatilidade indicou que a conectividade entre os mercados agrícolas, energético e de etanol foi maior nas margens do que na média. Isso significa que o índice de conectividade entre esses mercados foi maior no percentil 0,25 e 0,75. A análise foi feita com dados entre dezembro de 2012 e outubro de 2021 e foi possível observar o papel da pandemia do COVID-19 na volatilidade dos mercados estudados. De acordo com os resultados a transmissão de choques mudou após o período pandêmico.

Similar ao estudo anterior Aloui *et al.* (2023), por meio de um modelo VAR variante no tempo, investigaram a relação entre o risco geopolítico (GPR) e retorno nos mercados futuros de *commodities*. Os resultados indicam que a dependência entre o risco geopolítico e o retorno do mercado futuro de commodities geralmente é positivo. Tal resultado indica que em momentos de maior instabilidade aumenta a conexão entre esses indicadores.

A nível nacional Kang *et al.* (2017) utilizaram uma abordagem GARCH multivariado para compor um índice de conectividade entre seis *commodities* de mercados futuros. O objetivo do estudo consiste em analisar a direção e conectividade dos choques do mercado durante a crise fiscal por qual passou a Europa no início da década de 2010. As estimações indicaram que a conectividade entre as *commodities* aumentaram no período de crise.

4 METODOLOGIA – O MODELO QVAR

Em cada quantil τ da distribuição condicional, a relação entre y_t e o vetor x_t pode ser expresso por:

$$Q_\tau(y_t) = x_t \beta(\tau) \quad (1)$$

onde Q_τ denota a τ -ésima função condicional quantílica com respeito à y_t , com $\tau \in (0,1)$; x_t é um vetor de variáveis explicativas; e $\beta(\tau)$ é o coeficiente que estabelece a conexão de dependência entre x_t e o τ -ésimo quantil condicional através da seguinte equação:

$$\beta(\tau) = \underset{\alpha}{\operatorname{argmin}} \sum_{t=1}^T (\tau - 1_{\{y_t < x_t \alpha(\tau)\}}) |y_t - x_t \alpha(\tau)| \quad (2)$$

Assim, o processo do VAR em quantis de p -ésima ordem com n variáveis segue:

$$y_t = c(\tau) + \sum_{i=1}^p B_i(\tau) y_{t-i} + \varepsilon_t(\tau) \quad (3)$$

com $t = 1, \dots, T$, onde y_t representa o vetor de ordem n de variáveis dependentes, e $c(\tau)$ e $\varepsilon_t(\tau)$ denotam o vetor de ordem n de constantes e os resíduos no quantil τ , respectivamente. $B_i(\tau)$ denota a matriz de coeficientes defasados no quantil τ , com $i = 1, \dots, p$.

Os coeficientes $\hat{B}_i(\tau)$ e $\hat{c}(\tau)$ são estimados sob a hipótese de que assintoticamente o valor esperado dos resíduos no τ -ésimo quantil é tal que $Q_\tau(e_t(\tau) | y_{t-1}, \dots, y_{t-p}) = 0$. Esta equação fornece o τ -ésimo quantil condicional populacional da resposta y , em cada quantil, o último pode ser estimado por equação:

$$Q_\tau(e_t(\tau) | y_{t-1}, \dots, y_{t-p}) = c(\tau) + \sum_{i=1}^p B_i(\tau) y_{t-i} \quad (4)$$

Em ordem de computar as várias medidas de *return connectedness*, segue-se a proposta de Ando *et al.* (2018), que estende as medidas baseadas na média de *return connectedness* propostas por Diebold e Yilmaz (2012), para cada quantil de interesse. Para iniciar o processo, é necessário reescrever a equação (3) como um processo de médio móvel (MA) de ordem infinita:

$$y_t = c(\tau) + \sum_{s=0}^{\infty} A_s(\tau) \mu_{t-s} \quad (5)$$

$$\text{onde } c(\tau) = \left(I_n + \Phi_1(\tau) + \dots + \Phi_p(\tau) \right)^{-1} \gamma(\tau), \quad A_s(\tau) = \begin{cases} 0, s < 0 \\ I_n, s = 0 \\ \Phi_1(\tau)A_{s-1} + \dots + \Phi_p(\tau)A_{p-1} \end{cases},$$

$s > 0$. E Y_t é definido pela soma dos resíduos $\mu_t(\tau)$.

Posto isso, a decomposição do erro da variância de previsão generalizada h períodos à frente (GFEVD) é utilizado para investigar como uma variação na variável i afeta uma outra variável j :

$$\theta_{ij}^g(H) = \frac{\sigma(\tau)_{jj}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_s \Sigma e_j)^2}{\sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_s \Sigma e_i)} \quad (6)$$

em que $\theta_{ij}^g(H)$ reporta a contribuição da i -ésima variável para a variância no erro de previsão da i -ésima variável no horizonte H , Σ é a matriz de variância do vetor de resíduos, σ_{jj} representa o j -ésimo elemento diagonal da matriz Σ , onde e_i é um vetor com valor unitário para o i -ésimo elemento e 0 caso contrário.

A matriz de decomposição da variância pode ser normalizada então através da seguinte equação:

$$\tilde{\theta}_{ij}^g(H) = \frac{\theta_{ij}^g(H)}{\sum_{j=1}^k \theta_{ij}^g(H)} \quad (7)$$

Em seguida, o GFEVD pode ser utilizado para identificar o grau de conectividade em cada quantil, onde o índice de *spillover* é expressa por:

$$TSI(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1, i \neq j}^k \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \tilde{\theta}_{ij}^g(H)} \times 100 \quad (8)$$

E o índice total de *spillovers* da i -ésima variável para a j -ésima variável no quantil τ é dado por:

$$TO = \frac{\sum_{j=1, i \neq j}^k \tilde{\theta}_{ji}^g(\tau)}{\sum_{j=1}^k \tilde{\theta}_{ji}^g(\tau)} \times 100 = SI_{i \rightarrow j}(\tau) \quad (9)$$

E o índice direcional total de *spillover* do índice j para o índice i (FROM) no quantil τ é dado pela seguinte equação:

$$FROM = \frac{\sum_{j=1, i \neq j}^k \tilde{\theta}_{ij}^g(\tau)}{\sum_{j=1}^k \tilde{\theta}_{ij}^g(\tau)} \times 100 = SI_{i \leftarrow j}(\tau) \quad (10)$$

No quantil τ , o índice direcional total líquido de *spillover* é dado por:

$$NSI(\tau) = SI_{i \rightarrow j}(\tau) - SI_{i \leftarrow j}(\tau) \quad (11)$$

4.1 Base de dados

Nesta dissertação, são considerados dados mensais sobre os preços de *commodities* para o período de janeiro de 1970 a julho de 2023, resultando em 764 observações temporais. A base foi extraída a partir da seção de mercado de *commodities* do *World Bank*, e contempla índices de preços para grupos amplos de *commodities* segmentados em acordo com suas características. A vantagem dessa estrutura reside na possibilidade avaliar como os mercados se movimentam em seu núcleo, evitando incorrer na análise de flutuações peculiares de tipos específicos de *commodities* (Zhang; Broadstock, 2020).

Em específico, a discriminação dos grupos e suas respectivas ponderações é realizada pelo *World Bank*, a qual define o peso relativo de cada classe de *commodities* em função do valor de exportação realizado pelos países em desenvolvimento no período 2002-2004. Procedeu-se com a seleção em nível de sete índices, associados à quatro grupos de *commodities*, quais sejam Energia, Alimentos, Bebidas, Matéria Prima, Fertilizantes, Metais e Minerais e Metais Preciosos. A Tabela 1 reporta uma descrição resumida de cada índice¹.

Tabela 1 – Descrição dos Índices de *Commodities*

Índice	Grupo	Subgrupo	Classes (Pesos)
Energia	Energético	Energético	Petróleo (84,6%), Gás Natural (10,8%) e Carvão (4,7%)
Alimentos	Não-Energético	Agricultura	Cereais (28,2%), Oleaginosas (40,8%) e Outros Alimentos (31%)
Bebidas	Não-Energético	Agricultura	Café (45,7%), Cacau (36,9%) e Chá (17,4%)
Matéria Prima	Não-Energético	Agricultura	Madeira (52,2%), Algodão (11,8%), Borracha Natural (22,3%) e Tabaco (13,7%)
Fertilizantes	Não-Energético	Fertilizantes	Rocha Fosfática Natural (16,9%), Fosfato (21,7%), Potássio (20,1%) e Nitrogênio (41,3%)

Continua

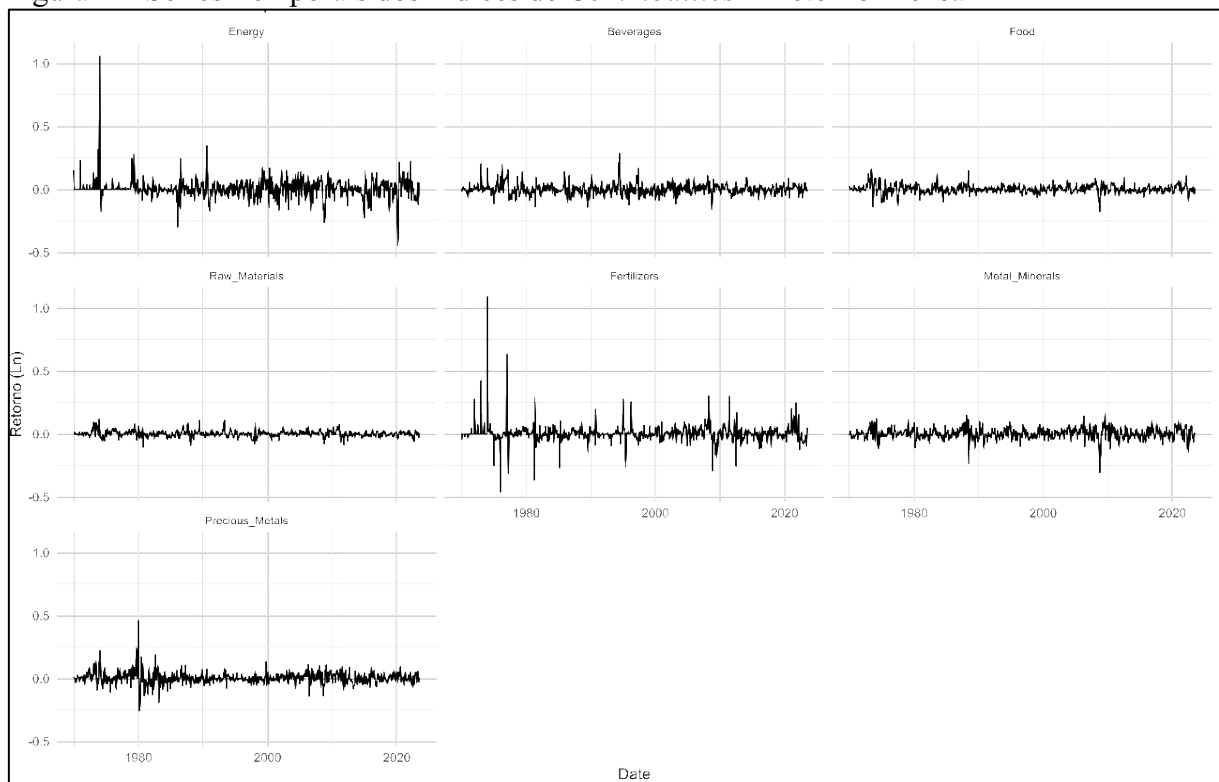
¹ Para mais detalhes, veja: <<https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>>. Último acesso realizado em 03/01/2024.

Tabela 1 – Descrição dos Índices de *Commodities*

Índice	Grupo	Subgrupo	Classes (Pesos)
Metais e Minerais	Não-Energético	Metais e Minerais	Alumínio (26,7%), Cobre (38,4%), Minério de Ferro (18,9%), Chumbo (1,9%), Níquel (8,1%), Estanho (2,1%) e Zinco (4,1%)
Metais Preciosos	Não-Energético	Metais Preciosos	Ouro (77,8%), Prata (18,9%) e Platina (3,3%)

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

As séries de dados, transformadas a partir da primeira diferença do logaritmo natural, são reportadas na Figura 1, enquanto na Tabela 2 é apresentado um conjunto de estatísticas descritivas. No geral, as dinâmicas temporais sugerem uma volatilidade relativamente maior nos extremos do período temporal. A década de 1970 foi demarcada pelo colapso do Sistema Bretton Woods, que resultou em uma explosiva elevação na volatilidade cambial internacional, e pela disrupção da oferta de petróleo, dado o embargo proclamado pela OPEP, que gerou um *boom* no preço das *commodities* energéticas em meados da década. A forte volatilidade observada em período recente está associada à eventos sanitários (Covid-19) e riscos geopolíticos (Guerra Rússia-Ucrânia), que majoraram o ambiente de incerteza nos mercados globais, refletindo-se diretamente na volatilidade das *commodities*.

Figura 1 – Séries Temporais dos Índices de *Commodities* – Retorno Mensal

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

Conforme o Painel A (Tabela 2) os índices de Energia e de Metais Preciosos apresentaram o maior retorno médio durante o período. O índice de Energia reportou também a maior volatilidade relativa ao lado do índice de Fertilizantes. Quanto à distribuição dos retornos, as estatísticas do teste de Jarque-Bera indicaram que os retornos seguem uma distribuição não-normal em todos os casos, caracterizando-se por elevados níveis de curtose e coeficiente de assimetria positivo (exceto para Metais e Minerais). Por fim, o teste ERS rejeita a hipótese nula de raiz unitária em todos os casos, sugerindo que os índices de preços são estacionários em log-diferença.

O Painel B (Tabela 2) reporta a matriz de correlação entre as séries temporais dos índices de *commodities*. No geral, todos os coeficientes apresentaram-se estatisticamente significantes e positivos (a exceção do índice de Fertilizantes, que somente apresentou relação positiva e estatisticamente significativa com o índice de Energia), sugerindo a possível existência de movimentos comuns na dinâmica dos preços das *commodities*. Na margem, o maior nível de correlação fora observado entre o par Metais e Minerais – Metais Preciosos (0.233). O índice de Metais e Minerais reportou também o maior nível de correlação média com os demais (0.166), ao passo que o menor nível médio (0.038) foi apresentado pelo índice de Fertilizantes.

Tabela 2 – Estatísticas Descritivas dos Índices de *Commodities* –Retorno Mensal

	Energia	Bebidas	Alimentos	Matéria Prima	Fertilizantes	Metais e Minerais	Metais Preciosos
Painel A. Medidas de Posição, Dispersão, Testes de Normalidade e Estacionariedade							
Média	0.006*	0.002	0.003*	0.002**	0.004	0.003	0.006***
Variância	0.007***	0.002***	0.001***	0.001***	0.007***	0.002***	0.003***
Assimetria	2.703***	0.852***	0.116	0.380***	4.140***	-0.641***	1.177***
Curtose	37.987***	4.074***	3.212***	2.913***	56.214***	4.335***	12.092***
Jarque-Bera	39443.526***	522.338***	277.795***	242.900***	86499.549***	547.574***	4065.852***
Raiz Unitária (ERS)	-3.111***	-8.807***	-6.371***	-8.335***	-6.203***	-8.153***	-10.603***
H0: Raiz Unitária							
Painel B. Análise de Correlação - Kendall							
Energia	1.000***						
Bebidas	0.080***	1.000***					
Alimentos	0.115***	0.138***	1.000***				
Matéria Prima	0.189***	0.108***	0.174***	1.000***			
Fertilizantes	0.071***	0.022	0.042	0.013	1.000***		

Continua

Conclusão

Tabela 2 – Estatísticas Descritivas dos Índices de *Commodities* –Retorno Mensal

	Energia	Bebidas	Alimentos	Matéria Prima	Fertilizantes	Metais e Minerais	Metais Preciosos
Painel B. Análise de Correlação - Kendall							
Metais e Minerais	0.211***	0.134***	0.184***	0.183***	0.051	1.000***	
Metais Preciosos	0.141***	0.140***	0.175***	0.153***	0.029	0.233***	1.000***

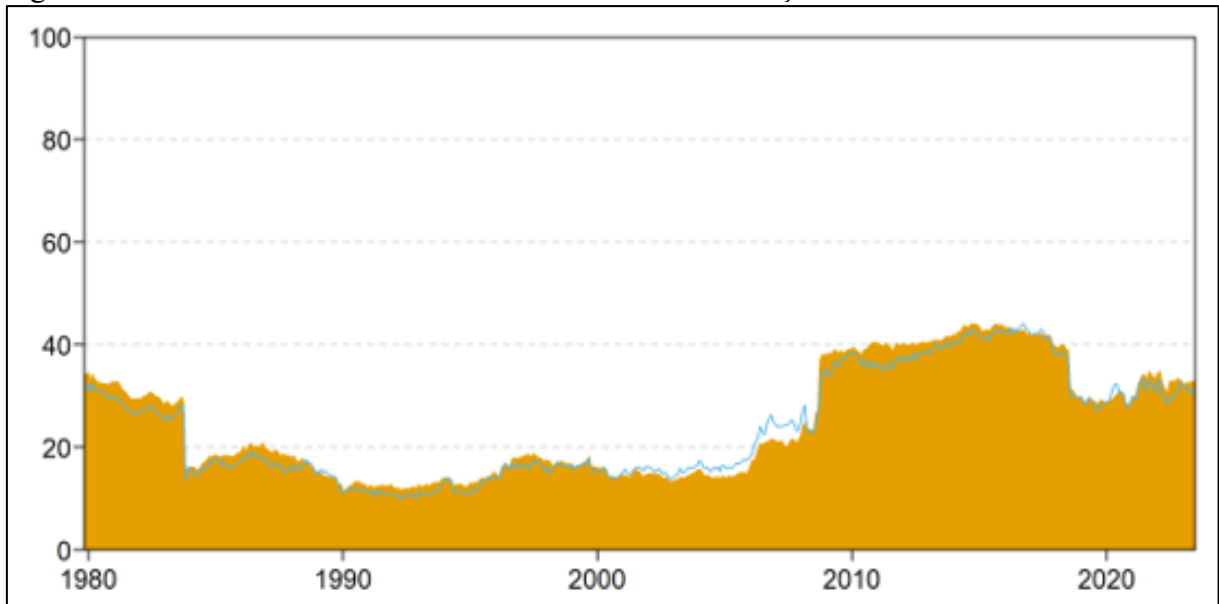
Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

5 RESULTADOS

Nessa seção serão reportados os resultados obtidos a partir da estratégia empírica selecionada. Em todas as especificações, os resultados foram estimados considerando janelas móveis de 120 meses (10 anos), a ordem dos modelos é determinada pelo critério de Schwarz (BIC) e a decomposição generalizada da variação de erro de previsão é estimada considerando 12 períodos a frente (1 ano).

Entretanto, antes de discutir as implicações do modelo *Quantile-VAR (QVAR)* apresenta-se inicialmente um comparativo da análise de conectividade através do modelo VAR vis-à-vis o quartil mediano ($q = 0,50$) através do modelo *QVAR*. A Figura 2 ilustra o índice total de conectividade entre os retornos dos preços das *commodities* no período amostral completo. Em ambos os casos, documenta-se que o grau de interdependência nos retornos dos preços das *commodities* apresenta comportamento cíclico ao longo do tempo, com picos associados à períodos de majoração da incerteza no ambiente econômico (reflexos do segundo choque do petróleo no início dos anos 1980, da crise do *subprime* em 2007-2008, da pandemia do Covid-19 e da Guerra Rússia-Ucrânia no período 2020-2022), sugerindo que a conectividade entre as *commodities* reage de forma intensa à eventos econômicos globais.

Figura 2 – Índice de Conectividade Total – Retornos dos Preços das *Commodities**



Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do World Bank.

Nota: *A linha verde denota o índice de conectividade estimado a partir do modelo QVAR ($q = 0,50$), enquanto a área amarela denota o índice de conectividade estimado por meio do modelo VAR.

A Tabela 3 reporta o índice cruzado de conectividade para o período amostral completo. Na medida em que os resultados não diferiram sistematicamente, optou-se por apresentar somente as estatísticas estimadas a partir do modelo VAR. A título de instruir o leitor, os resultados devem ser interpretados da seguinte forma:

- i) As caselas internas formam uma matriz 7×7 , denotando a decomposição da variância do erro de previsão para cada commodity no sistema. Os elementos na diagonal principal denotam os choques provenientes de si própria, ao passo que os demais elementos (fora da diagonal principal) denotam os choques de/para as demais *commodities*;
- ii) Os valores na i – ésima coluna ($i = 1, \dots, 7$) expressam os choques transmitidos pela i – ésima commodity para si e todas as demais *commodities*;
- iii) Os valores na j – ésima linha ($j = 1, \dots, 7$) expressam os choques recebidos pela j – ésima commodity a partir de si e todas as demais *commodities*;
- iv) A coluna (FROM) mensura a soma total de choques recebidos pela commodity da j – ésima linha a partir de todas as demais *commodities* representando o grau de exposição da primeira;
- v) A linha (TO) mensura a soma total de choques transmitidos pela commodity da i – ésima coluna sobre todas as demais *commodities*;
- vi) A linha (Efeito Líquido) denota a conexão direcional líquida da commodity da i – ésima linha. Caso o valor seja positivo (negativo), então interpreta-se que a i – ésima commodity é uma emissora (receptora) líquida de choques.

As commodities energéticas receberam choques em sua maioria do índice de Metais e Minerais (8,08%) e de Alimentos (5,44%). De forma geral esse grupo recebeu 28,42% de choques das demais commodities. Por sua vez essa commodities transmitiram em sua maioria choques para minerais metálicos e (7,55) e matérias-primas (4,24), transmitindo as demais variáveis 25,62. Dessa forma o saldo líquido de transmissão das commodities energéticas foi de -2,8, assim ao longo do período ela foi receptora de choques.

Olhando para os grupos commodities apenas alimentos, minerais metálicos e metais preciosos foram transmissores de choques, do ponto de vista do efeito líquido. Alimentos foi o maior transmissor, com efeito líquido de 5,16% e o maior receptor de choques foram os fertilizantes com -6,47%.

Por fim, em todos os casos, as inovações nos retornos dos preços das commodities decorrem em maior medida devido à choques dentro do próprio setor, ao passo que a

transmissão de choques dos demais setores corresponde por entre 15,64% (índice de Fertilizantes) e 32,27% (Metais e Minerais), ou seja, pode-se inferir que os *spillovers* ocorrem de forma marginal.

Tabela 3 – Índice Cruzado de Conectividade – Retornos dos Preços das *Commodities*

	Energia	Bebidas	Alimentos	Matérias-primas	Fertilizantes	Minerais metálicos	Metais preciosos	FROM
Energia	71,58	2,61	5,44	4,89	3,39	8,08	4,01	28,42
Bebidas	2,79	79,30	5,44	3,49	1,56	4,43	2,99	20,70
Alimentos	3,31	4,73	74,20	5,10	1,08	7,86	3,73	25,80
Matérias-primas	4,24	3,14	5,92	74,61	0,94	6,68	4,46	25,39
Fertilizantes	4,11	2,81	3,93	1,99	84,36	1,57	1,22	15,64
Minerais metálicos	7,55	4,08	5,97	4,30	1,07	67,73	9,31	32,27
Metais preciosos	3,61	3,03	4,26	4,72	1,13	7,68	75,58	24,42
TO	25,62	20,39	30,96	24,48	9,17	36,30	25,73	172,64
Efeito líquido (TO-FROM)	-2,80	-0,31	5,16	-0,91	-6,47	4,03	1,31	

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

Entretanto, na medida em que a conectividade no sistema é evento dependente, oscilando de forma cíclica à medida em resposta às mudanças na dinâmica da economia global, faz-se relevante também avaliar se estas respostas diferem não somente no tempo, mas também ao longo da distribuição de retornos. Neste sentido, o uso do modelo *QVAR* representa uma contribuição relevante desta dissertação, a fim de aprofundar a discussão sobre o papel de *spillovers* sobre os retornos de preços das *commodities* em períodos de intensa variação destes.

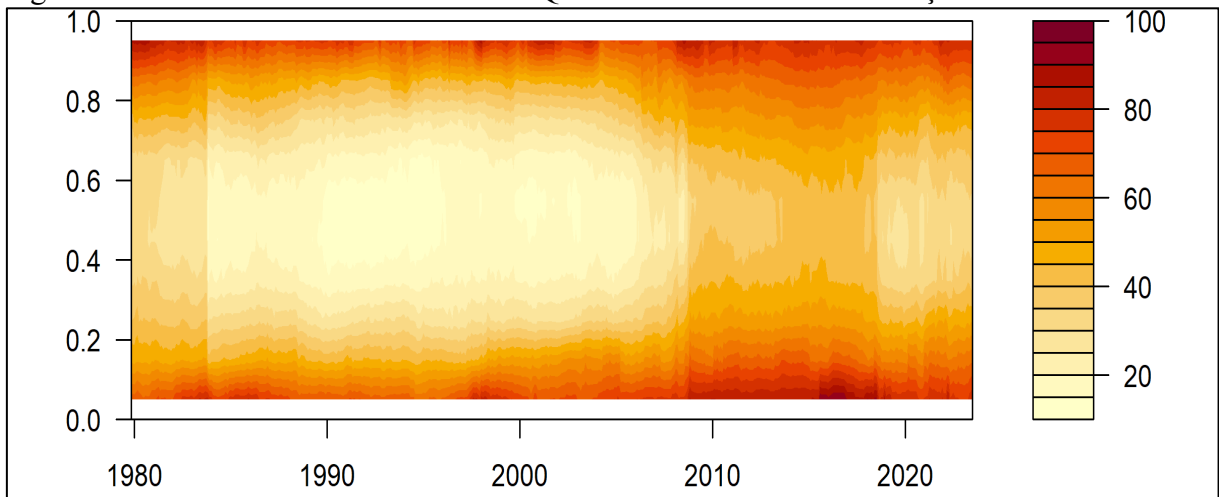
5.1 Conectividade por grupo de *commodity* e quantil de preços

Para mensurar o grau de conectividade do sistema através dos quantis, são obtidas estimativas do modelo *QVAR* para os quantis entre 95% e 5%, com intervalo interquantil de 10%, totalizando 10 regressões. Em todas estas, o número de defasagens foi estabelecido com base no critério de Schwarz (BIC) e a janela do erro de previsão de 12 períodos a frente.

A Figura 3 reporta o índice dinâmico de conectividade, quanto mais quente for a coloração maior o grau de conectividade no sistema em determinada região tempo-quantil. Os resultados atestam a importância da regressão quantílica na mensuração de *spillovers* entre as *commodities*, indicando que a conectividade no sistema é intensificada tanto para variações extremas positivas (quantis superiores à 80%) quanto para variações extremas negativas

(quantis inferiores à 20%) nos retornos dos preços. Confirma-se também que o índice de conectividade é estado-dependente especialmente em reigões próximas à mediana da distribuição, onde o grau de conectividade elevou-se nos períodos vizinhos ao segundo choque do petróleo, crise do subprime e pandemia do Covid-19/Guerra da Rússia-Ucrânia.

Figura 3 – Índice de Conectividade Total Quantílico – Retornos dos Preços das *Commodities**

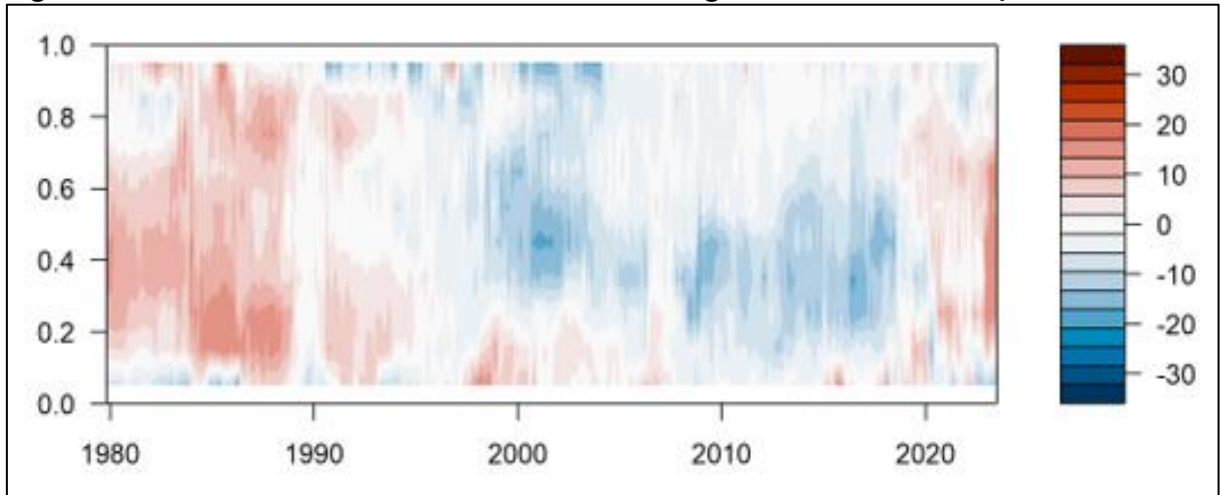


Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

O conjunto de Figuras 4 - 10 reporta os resultados de conectividade direcional para cada índice de commodity, ou seja, elas apresentam o efeito líquido de *spillovers*, sendo igual a diferença entre a proporção de choques originados pela i – ésima commodity que são transmitidos às demais e a proporção de choques recebidos pela i – ésima commodity que são originados pelas demais. Regiões no tempo-quantil com coloração em tons de vermelho (azul) indicam que a commodity i é uma transmissora (receptora) líquida de choques, quanto mais intensa for a coloração maior o grau de integração no sistema.

Na Figura 4, nota-se que o índice de Energia fora um transmissor líquido de choques nos extremos da amostra, com este período perdurando durante toda a década de 1980 e o intervalo pós-pandemia do Covid-19. No que tange aos quantis, é possível observar que o índice gera transbordamento de choques com mais regularidade na parte inferior da distribuição (abaixo de 20%), com destaque para o períodos inicial e final da década de 1990 e o período inicial da crise do subprime. Neste sentido, os resultados sugerem que períodos de intensa queda no retorno dos preços são associados com uma tendência de liderança das *commodities* energéticas sobre as demais, especialmente em períodos associados à crises econômicas/financeiras.

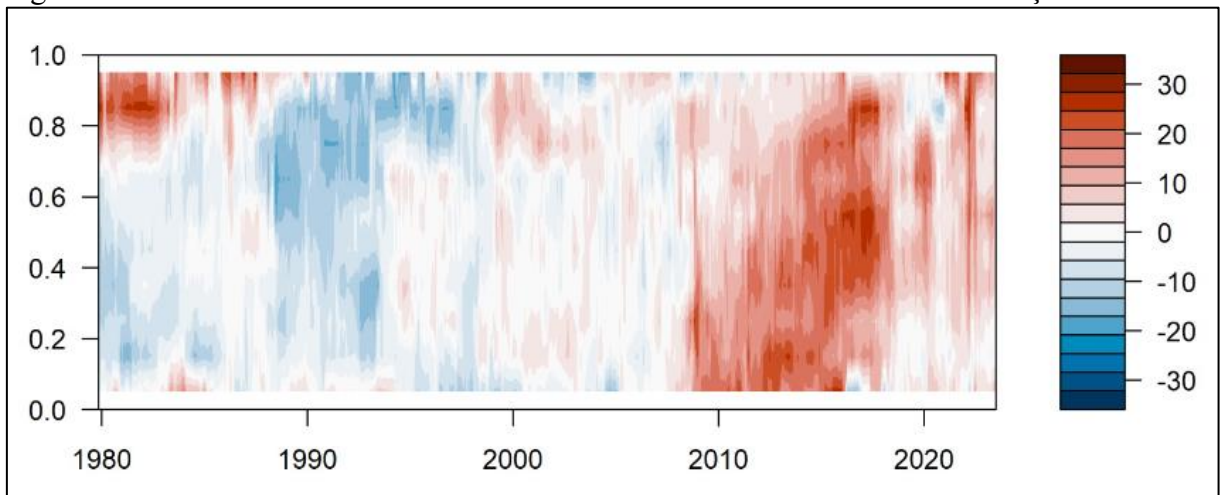
Figura 4 – Conectividade Direcional do Índice de Energia – Retornos dos Preços



Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

A Figura 5 indica também uma mudança na dinâmica de transbordamento do índice de Alimentos sobre o sistema, com o mesmo tornando-se predominantemente um transmissor líquido desde o advento da crise do subprime em 2007-2008. É interessante pontuar que os *spillovers* inicialmente eram mais intensos no extremo inferior da distribuição quantílica, convergindo para a mediana e posteriormente ao extremo superior da distribuição. Apesar de apresentar intensificações pontuais em meados de 2020 e de 2021, nota-se uma redução no grau de transbordamento de seus choques desde 2019.

Figura 5 – Conectividade Direcional do Índice de Alimentos – Retornos dos Preços

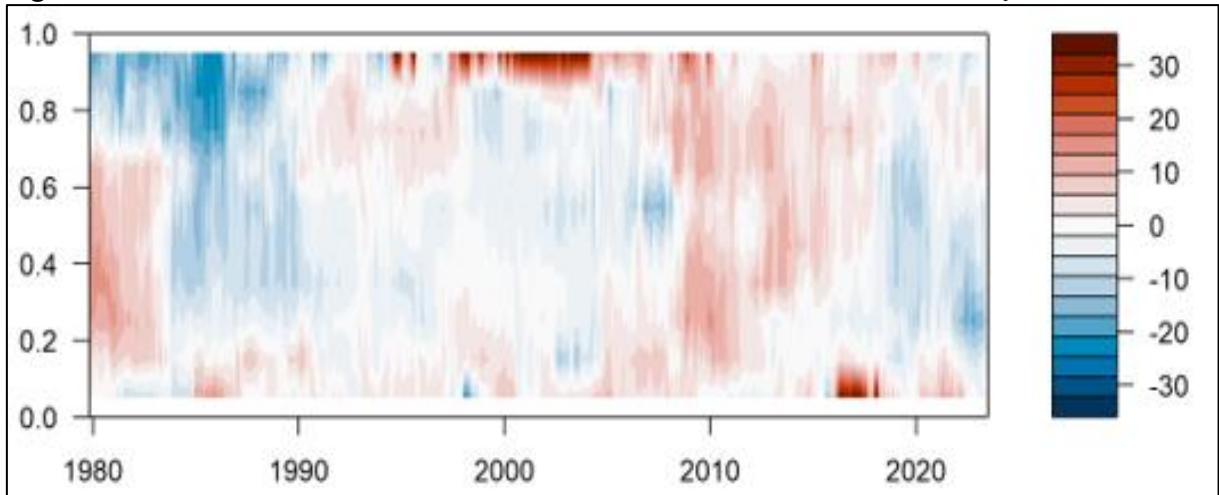


Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

No caso da *commodities* de Bebidas (Figura 6) na década de 1980 entre o quantil 0,2 e 0,6 esses preços transmitiram *spillovers* para as demais *commodities*. No entanto na alta de preços essa *commodity* foi receptora de choques por quase toda a década de 1980. No entanto esse papel se inverteu na década de 1990, quando nos quantis superiores a volatilidade das

bebidas foram transmissoras de choques. Na década de 2000 os preços dessa *commodities* foram transmissores em quase todos os quantis, com exceção de dos quantis inferiores no fim da década.

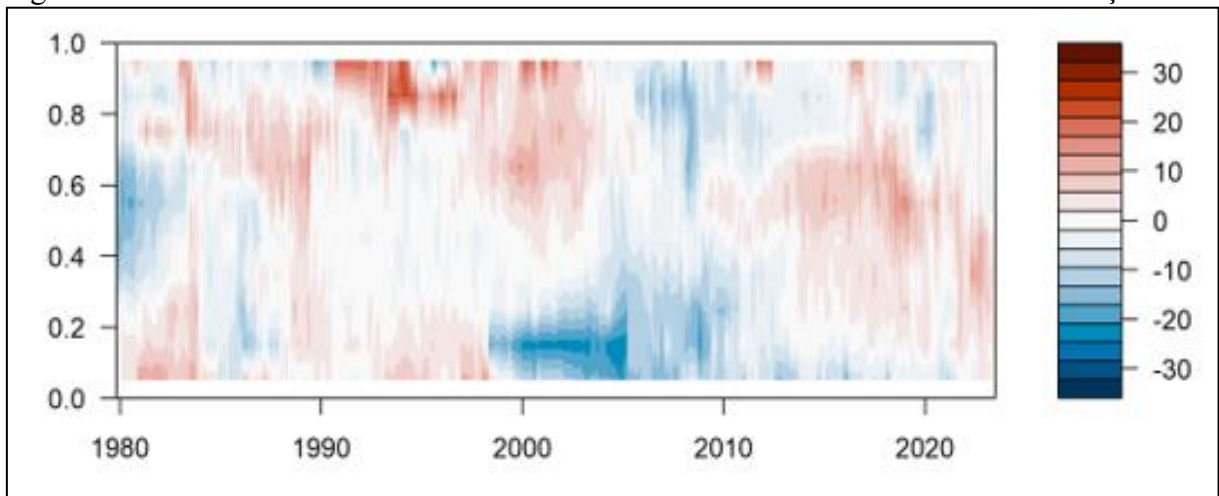
Figura 6 – Conectividade Direcional do Índice de Bebidas – Retornos dos Preços



Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

A figura 7 exibe a conectividade direcional dinâmica dos índices de Matérias Primas. Entre a década de 1980 e 1990 este grupo pode ser considerado como um receptor de choques. Tal período marcado por recessão nos países subdesenvolvidos e ainda perdurava as consequências dos choques de petróleo da década de 1970. Por sua vez em alguns desse intervalo os houve transmissão de choques em ambos os extremos da distribuição quantílica. A partir da década de 1990 e início dos anos 2000 os preços das matérias prima se intensificam como transmissores de choques, em quase todos os decis. A exceção para esse período foi em momentos de baixa entre 1998 e 2000, em que houve recepção de choques, momento esse da crise asiática e do México. Essa recepção de choques foi se intensificando entre 2000 e 2010. No decênio entre 2010 e 2020 houve uma leve transmissão de choques dessas *commodities* entre o 2° e o 8° decil de preços.

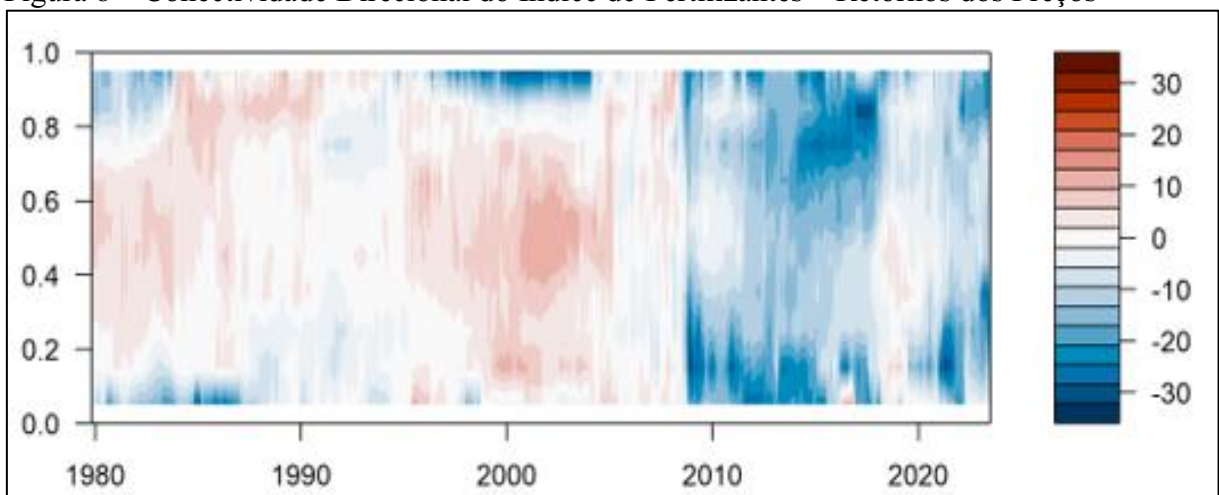
Figura 7 – Conectividade Direcional do Índice de Matérias Primas – Retornos dos Preços



Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

Diversos fertilizantes são compostos a partir de subprodutos do petróleo, dessa forma ainda na década de 1980 os fertilizantes se comportaram similar as *commodities* energéticas, com exceção das bordas superiores e inferiores que foram receptoras de choques. De modo geral entre 1980 e 2008, em momentos de “busts” e “booms” essa *commodity* foi receptora de choques, mas próximo a média foi transmissora de choques. Esse comportamento mudou com *subprimes*, em 2008, desse momento em diante essas *commodities* se tornaram receptoras de choques.

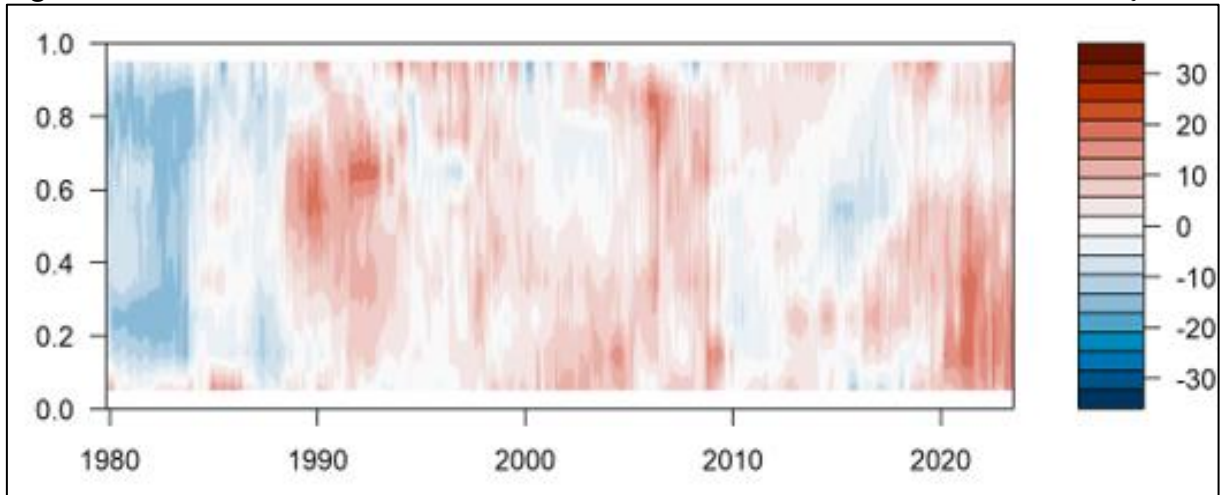
Figura 8 – Conectividade Direcional do Índice de Fertilizantes – Retornos dos Preços



Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

O decênio entre 1980 e 1990, para o índice de Metais e Minerais, foi um período de recepção de choques para esse grupo. Entretanto, a partir de 1990, esse cenário se modifica, e em quase todo o período restante, os preços dessas *commodities* transmitem choques as demais, no período após a pandemia essa transmissão se intensifica nos menores preços.

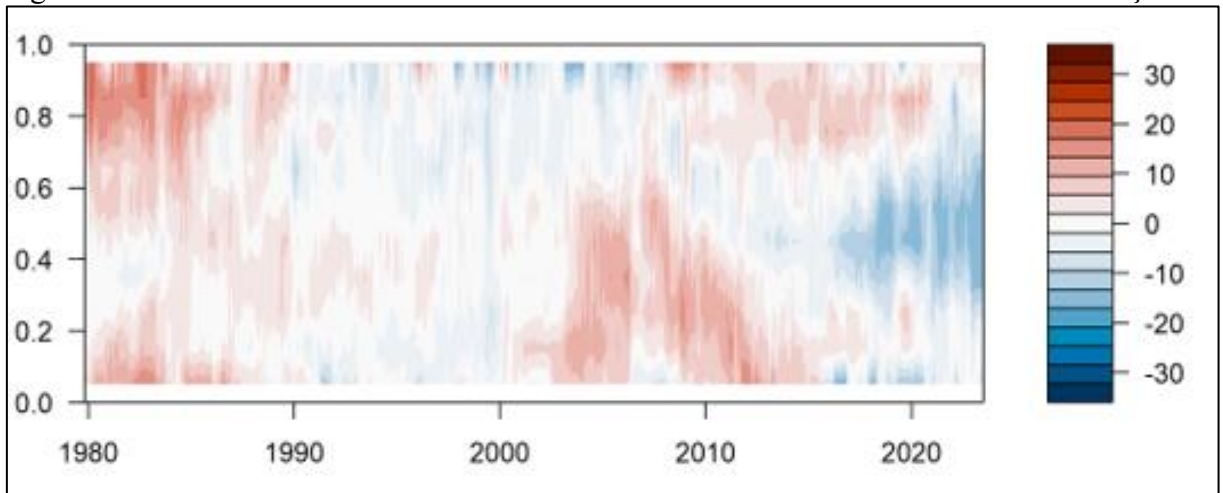
Figura 9 – Conectividade Direcional do Índice de Metais e Minerais – Retornos dos Preços



Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

A relação de transmissão de choques dos metais preciosos com as demais *commodities* se intensifica nos anos 1980, onde esse grupo é transmissor de choques. Essa transmissão atenua-se entre 1990 e 2000. A partir dos anos 2000 essa transmissão de choques continua entre a baixa e a média dos preços. A partir de 2010 essa situação se inverte, a transmissão de choques se acentua nos altos preços. Após o momento de pandemia esse mercado passa a ser receptor de choques.

Figura 10 – Conectividade Direcional do Índice de Metais Preciosos – Retornos dos Preços



Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações do *World Bank*.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa dissertação, examinamos os efeitos de transmissão de volatilidade e conectividade entre sete grupos de *commodities*, incluindo energéticas e agrícolas, usando uma abordagem variável no tempo que descreve a conectividade condicional nos mercados de *commodities* em diferentes quantis.

Diversos resultados importantes foram obtidos a partir da análise empírica realizada. Utilizando a abordagem TVP-VAR, obtivemos um índice total de conectividade de 19,8%, indicando uma conexão marginal entre os grupos *commodities* em termos de transmissão de volatilidade entre os mercados. Os resultados destacam a predominância dos metais de preciosos e de base e alimentos como transmissores líquidos de choques. As *commodities* energéticas não se destacaram na relação com as *commodities* agrícolas, a maior conectividade desse grupo foi com o grupo de minerais de base.

Os resultados do modelo QVAR indicaram que a maioria das transmissões de choques de volatilidade acontece em momentos de alta e de baixa, isto é, nos quantis inferiores e superiores, em comparação com a média. Quanto ao grau de conexão geral os resultados apontam que, tanto para o TVP-VAR quanto para o QVAR, essa conexão é maior após choques nos mercados internacionais, como os choques do petróleo e a crise imobiliária dos Estados Unidos.

Os achados têm significantes implicações. Pela via prática, tais resultados neste trabalho podem ajudar os participantes do mercado com diferentes metas de investimento e horizontes a adotar melhores estratégias de proteção e diversificação de portfólio para auxiliar medidas políticas ótimas. Pela ótica da pesquisa acadêmica essa dissertação tem importância pois, uma análise baseada em modelos de estrutura média ou conectividade central não conceberia a distribuição condicional nos quantis inferiores e superiores em comparação com o modelo QVAR

REFERÊNCIAS

- AHMADI, Maryam; BEHMIRI, Niaz Bashiri; MANERA, Matteo. How is volatility in commodity markets linked to oil price shocks?. **Energy Economics**, v. 59, p. 11-23, 2016.
- ALOUI, Riadh *et al.* Geopolitical risk and commodity future returns: Fresh insights from dynamic copula conditional value-at-risk approach. **Resources Policy**, v. 85, p. 103873, 2023.
- ANDO, Tomohiro; GREENWOOD-NIMMO, Matthew; SHIN, Yongcheol. **Quantile connectedness: Modelling Tail Behaviour in the Topology of Financial Net-Works**. 18 abr. 2018. *In: SSRN Available online: <https://ssrn.com/abstract>.*
- AROURI, M. E. H.; JOUINI, J.; NGUYEN, D. K. Volatility spillovers between oil prices and stock sector returns: implications for portfolio management. **Journal of International Money and Finance**, v. 30, n. 7, p. 1387-1405, 2011.
- BAUR, Dirk G.; SMALES, Lee A. Hedging geopolitical risk with precious metals. **Journal of Banking & Finance**, v. 117, p. 105823, 2020.
- CAMPEÃO, Patrícia; SANCHES, Arthur Caldeira; MACIEL, Wilson Ravelli Elizeu. Mercado Internacional de Commodities: uma análise da participação do Brasil no mercado mundial de soja entre 2008 e 2019. **Desenvolvimento em Questão**, v. 18, n. 51, p. 76-92, 2020.
- CHIANG, T. C.; JEON, B. N. The impact of oil price shocks on the stock market return and volatility relationship. **Journal of Banking & Finance**, v. 31, n. 6, p. 1987-2016, 2007.
- DA SILVA, Felipe Marcos. Desenvolvimento e interconectividade do mercado de commodities: gênese do conceito e revisão bibliográfica. **REGEN Revista de Gestão, Economia e Negócios**, v. 2, n. 2, p. 1-19, 2021.
- DIEBOLD, Francis X.; YILMAZ, Kamil. Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. **International Journal of Forecasting**, v. 28, n. 1, p. 57-66, 2012.
- DIEBOLD, F. X.; YILMAZ, K. On the Network Topology of Variance Decompositions: Measuring the Connectedness of Financial Firms. **Journal of Econometrics**, v. 182, n. 1, p. 119-134, 2014.
- HE, Ling-Yun; CHEN, Shu-Peng. A new approach to quantify power-law cross-correlation and its application to commodity markets. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 390, n. 21-22, p. 3806-3814, 2011.
- GORTON, G.; ROUWENHORST, K. G. Facts and fantasies about commodity futures. **Financial Analysts Journal**, v. 62, n. 2, p. 47-68, 2006.
- KANG, Sang Hoon; MCIVER, Ron; YOON, Seong-Min. Dynamic spillover effects among crude oil, precious metal, and agricultural commodity futures markets. **Energy Economics**, v. 62, p. 19-32, 2017.

- KRISTOUFEK, Ladislav. Measuring correlations between non-stationary series with DCCA coefficient. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 402, p. 291-298, 2014.
- LÉLIS, Marcos Tadeu Caputi; CUNHA, André Moreira; LINCK, Priscila. O choque nos preços das commodities e a economia brasileira nos anos 2000. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 39, p. 427-448, 2019.
- MALLIARIS, A. G.; MALLIARIS, M. A. Hedge fund strategies of global macro quantitative funds: implications for risk management and portfolio allocation. **Annals of Operations Research**, v. 235, n. 1, p. 169-184, 2015.
- MICHELOTTI, Fernando; SIQUEIRA, Hipólita. Financeirização das commodities agrícolas e economia do agronegócio no Brasil: notas sobre suas implicações para o aumento dos conflitos pela terra. **Semestre económico**, v. 22, n. 50, p. 87-106, 2019.
- NAEEM, Muhammad Abubakr; ADEKOYA, Oluwasegun B.; OLIYIDE, Johnson A. Asymmetric spillovers between green bonds and commodities. **Journal of Cleaner Production**, v. 314, p. 128100, 2021.
- PODOBNIK, Boris; STANLEY, H. Eugene. Detrended cross-correlation analysis: a new method for analyzing two nonstationary time series. **Physical review letters**, v. 100, n. 8, p. 084102, 2008.
- TANG, Ke; XIONG, Wei. Index investment and the financialization of commodities. **Financial Analysts Journal**, v. 68, n. 6, p. 54-74, 2012.
- TESSMANN, Mathias Schneid *et al.* Conectividade e transmissão de volatilidade em commodities metálicas e energéticas: 1998-2018. **Boletim Economia Empírica**, v. 1, n. 2, 2020.
- TIWARI, Aviral Kumar *et al.* Quantile risk spillovers between energy and agricultural commodity markets: Evidence from pre and during COVID-19 outbreak. **Energy Economics**, v. 113, p. 106235, 2022.
- UMAR, Zaghum; RIAZ, Yasir; ZAREMBA, Adam. Patterns of spillover in energy, agricultural, and metal markets: a connectedness analysis for years 1780-2020. **Finance Research Letters**, v. 43, p. 101999, 2021.
- YANG, Kun *et al.* Geopolitical risk and renewable energy stock markets: An insight from multiscale dynamic risk spillover. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123429, 2021.