

Transmissão de risco e volatilidade no setor pecuário do Paraná: uma aplicação do modelo TVP-VAR

Transmission of risk and volatility in the Paraná livestock market: an application of the TVP-VAR model

Tomás Fernandes Torre¹ , Julyerme Matheus Tonin^{1*} , Carlos Oñate-Paredes² 

¹Programa de Pós-graduação em Ciências Econômicas, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá (PR), Brasil. E-mails: pg404990@uem.br; jmttonin@uem.br

²Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador (UASB-E), Quito, Ecuador. E-mail: carlos.onate@uasb.edu.ec

Como citar: Torre, T. F., Tonin, J. M., & Oñate-Paredes, C. (2025). Transmissão de risco e volatilidade no setor pecuário do Paraná: uma aplicação do modelo TVP-VAR. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 63, e293824. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2025.293824>

Resumo: Este estudo analisa a transmissão de risco e volatilidade no mercado pecuário do Paraná, Brasil, usando o modelo TVP-VAR, no período de janeiro de 1995 a março de 2024. Examina conectividade, *spillovers* de volatilidade e assimetria, com foco na produção de carne bovina e nas interações entre *commodities* pecuárias e grãos. Evidências mostram que crises internacionais ampliam a transferência de volatilidade, afetando mais os mercados internos. Ao compreender essas dinâmicas, o estudo contribui para o desenvolvimento de estratégias mais avançadas de estabilidade de preços e gestão de riscos no setor pecuário, com implicações para as políticas econômicas regionais e nacionais.

Palavras-chave: transmissão de risco, volatilidade, mercado de pecuária, modelo TVP-VAR, Paraná.

Abstract: This study analyzes the transmission of risk and volatility in the cattle market in Paraná, Brazil, using the TVP-VAR model, from January 1995 to March 2024. It examines connectivity, volatility spillovers and asymmetry, focusing on beef production and interactions between livestock commodities and grains. Evidence shows that international crises amplify the transfer of volatility, affecting domestic markets more. By understanding these dynamics, the study contributes to the development of more advanced price stability and risk management strategies in the livestock sector, with implications for regional and national economic policies.

Keywords: risk transmission, volatility, livestock market, TVP-VAR model, Paraná.

1 Introdução

A pandemia do Covid-19 testou a resiliência das cadeias globais de valor e expôs as vulnerabilidades presentes nas cadeias de abastecimento, provocando perturbações nos preços dos alimentos e energia. O período pós-pandemia é caracterizado por elevação dos custos de transporte e manutenção de um ambiente de maior volatilidade. Além disso, as tensões comerciais e geopolíticas se intensificaram após as sanções comerciais contra a Rússia decorrente da invasão à Ucrânia em 2022, criando uma nova dinâmica para o comércio internacional.

No setor agroalimentar, em especial o complexo carnes, há fatores específicos que agravam a conjuntura atual e afetam a oferta global de proteína animal. Aspectos sanitários, mudanças cambiais, alterações regulatórias e imposição de tarifas são potencializadores de risco e afetam a competitividade deste setor. Por exemplo, mudanças cambiais encarecem o custo das rações, o aumento dos preços dos combustíveis eleva os fretes e o aumento das exportações afeta a disponibilidade interna de carnes (Barros et al., 2021). As expectativas dos agentes econômicos e atividade especulativa no mercado, choques de oferta e demanda, condições climáticas, concentração e integração de mercado, mercados futuros e cadeias de suprimentos também

são fatores relevantes na análise. Nesse contexto, é importante compreender como choques e incertezas se propagam entre os diferentes segmentos do mercado agropecuário.

A literatura especializada identifica esse tipo de interação entre mercados, especialmente no que tange à transmissão de volatilidade, como *spillover*, contágio, comovimentos ou conectividade. Nesse contexto, esta pesquisa explora a conectividade no setor pecuário brasileiro, especificamente no estado do Paraná. Diante do exposto, emerge a seguinte questão: como ocorre o repasse de risco, via transmissão de volatilidade, de mercados correlatos para o mercado de carne bovina no Paraná? Diante disso, o estudo tem por objetivo analisar os comportamentos de curto e longo prazo das medidas de conectividade e *spillover* de volatilidade e de assimetria para o mercado pecuário do Paraná, para o período de janeiro de 1995 a fevereiro de 2024.

A opção pelo Brasil se fundamenta em seu destaque global, já que o país lidera a produção e a exportação de carnes no cenário mundial. Ao analisar o período de janeiro a setembro de 2024, o país totaliza um valor exportado US\$ 16,98 bilhões no setor carnes, em termos FOB, sendo US\$ 2,02 bilhões para carne suína (12%), US\$ 6,67 bilhões de carne de frango (39%) e US\$ 8,28 bilhões de carne bovina (49%). Em termos regionais, o setor carnes no Paraná representou 18,83% do acumulado do país até o mês de setembro de 2024, com um valor exportado de US\$ 3,19 bilhões no período. Apesar da importância econômica da pecuária paranaense e do reconhecimento da relevância da transmissão de volatilidade entre mercados agropecuários, ainda há uma lacuna na compreensão de como choques e riscos são transmitidos entre os segmentos da cadeia produtiva no âmbito regional, especialmente no Estado do Paraná.

A escolha do recorte temporal tem por objetivo englobar tanto os ciclos da cadeia produtiva de carne bovina, quanto os choques exógenos decorrentes de eventos econômicos, políticos, ambientais e sociais. Dentre os eventos, pode-se destacar: a Crise Asiática (1997-1998), o Colapso do rublo (1998), o Boom de *commodities* (2000-2008), a Crise financeira global (2008-2009), a Primavera Árabe (2010-2011), queda de preços do petróleo (2014-2016), guerra comercial EUA-China (2018-2019), a pandemia Covid-19 (2020-2022) e por fim, a Guerra Rússia-Ucrânia. Nesse contexto, a análise compreende os mercados: de *commodities* pecuárias (Boi Gordo, Boi magro para engorda, Frango vivo, Leite, Ovo Grande, Suíno Raça) e de grãos de ração (Milho e Soja).

Para medir a conectividade, a maior parte da literatura se baseia na metodologia de Diebold & Yilmaz (2015) amplificada por Antonakakis et al. (2020) que avalia a transmissão de volatilidade por meio do modelo TVP-VAR. Este modelo permite segregar os comportamentos líquidos dos receptores e transmissores de volatilidade à rede. A abordagem metodológica empregada neste estudo foi aquela ampliada e consolidada por Furuoka et al. (2023), que, ao utilizar a versão de frequência do modelo dinâmico de parâmetros variáveis ao longo do tempo (TVP) na perspectiva de vetor autorregressivo (VAR), incorpora a decomposição da frequência das métricas de conectividade e a análise da assimetria em relação aos retornos das medidas de conexão.

Embora a conectividade entre mercados seja amplamente avaliada em mercados financeiros, há uma lacuna significativa na sua aplicação ao setor rural. O presente estudo pretende contribuir com esta temática, ao investigar a interdependência regional, em diferentes elos da cadeia produtiva ou substitutos próximos e com o setor de grãos. A pesquisa abrange um período de quase 30 anos e utiliza dados mensais para examinar como produtos específicos em uma mesma cadeia do agronegócio transmitem e recebem volatilidade.

2 Fundamentação Teórica

A interdependência entre mercado pode ser avaliada por diferentes prismas, sendo que contágio, transbordamento (*spillover*) e conectividade são os termos comumente aplicados na literatura. O termo contágio está associado ao comparativo entre período de estabilidade e turbulência, em

que há um aumento perceptível e relevante da inter-relação entre mercado, após um choque exógeno (Forbes & Rigobon, 2002). O termo transbordamento foi aplicado primordialmente por Coase (1960) na sua discussão sobre externalidade, e refere-se ao impacto que um choque econômico em um mercado tem sobre outros mercados, não necessariamente de forma direta, mas por meio de interações econômicas, financeiras ou psicológicas (mudanças nas expectativas).

Por sua vez, o termo “conectividade de mercado” surge com uma abordagem alternativa à Lei do Preço Único (LOP, em inglês). Enquanto a LOP teorizava sobre as relações de equilíbrio, a abordagem de conectividade centrava o foco na transferência de choques nos preços de diferentes mercados (McNew, 1996; McNew & Fackler, 1997). Mas foi a partir do estudo de Diebold & Yilmaz (2012) que se propunha a medir o transbordamento bidirecional (quem recebe e quem propaga) de volatilidade entre mercados, que o termo “conectividade” passa a representar uma vertente de análise, preocupada com a interação em redes complexas de relações econômicas.

O trabalho seminal de McNew (1996) utilizou um modelo de vetores autorregressivo (VAR), mas na década de 2010 se disseminou a utilização de modelos de vetores autorregressivos com parâmetros variáveis no tempo (TVP-VAR). A partir da pandemia de Covid-19, o emprego do termo conectividade relacionado à análise de transmissão de risco e volatilidade ganhou relevância. Estudos com esta abordagem identificaram a conexão entre as instabilidades nos mercados internacionais de petróleo e viagens (Qin et al., 2021), energia e *commodities* agrícolas (Furuoka et al., 2023), energia e metais (Cunado et al., 2024), petróleo e *commodities* agrícolas (Capitani & Gaio, 2025) evidenciando a necessidade de análise contínua e adaptativa das dinâmicas de volatilidade e risco no cenário econômico global.

Diversos estudos têm utilizado o modelo TVP-VAR para investigar a dinâmica dos preços de *commodities* e seus impactos econômicos. Yang et al. (2022) analisaram como os riscos geopolíticos (GPR) e a incerteza na política comercial (TPU) afetam os preços das *commodities* ao longo do tempo, revelando impactos perceptíveis e não negligenciáveis. Zhao (2023) expandiu essa análise para diferentes categorias de recursos naturais, mostrando que riscos geopolíticos têm efeitos variados em minerais, metais preciosos e metais industriais. Mishra et al. (2024) também exploraram a conectividade dinâmica entre os retornos de futuros de nove produtos na Índia, destacando a complexidade das interações dentro desse sistema de mercado. Esses estudos enfatizam a importância de entender a dinâmica dos preços de *commodities* para a formulação de políticas econômicas e estratégias de mitigação de riscos.

No âmbito das *commodities*, a conectividade entre o mercado de energia e outras *commodities* agrícolas tem se destacado na literatura. Nesse contexto, Furuoka et al. (2023) investigaram a conectividade entre energia e *commodities* agrícolas utilizando-se o modelo TVP-VAR. Os resultados revelaram variações na conectividade entre energia e *commodities* agrícolas ao longo do tempo, sendo que a menor conectividade foi observada durante a recuperação dos efeitos da pandemia do COVID-19.

Tratando especificamente de trabalhos voltados às *commodities* agrícolas e alimentares, em um recorte analítico recente (2021 a 2024), houve estudos sobre os mercados de grãos e de alimentos, como soja, arroz, trigo, açúcar, algodão, carnes, cereais, entre outros (Anand & Mishra, 2024; Cagli et al., 2023; Owusu Junior et al., 2022; Polat et al., 2023, 2024; Umar et al., 2021; Vo & Tran, 2024; Wu et al., 2023; Zeng et al., 2023; Zhu et al., 2024).

Portanto, apesar de ser uma temática recorrente no período pós pandemia como ferramenta para o entendimento da volatilidade de um mercado, poucos estudos foram direcionados para *commodities* agropecuárias. Em relação ao mercado pecuário, Mattos et al. (2009) analisaram a dinâmica do preço do boi gordo em São Paulo e Minas Gerais, por meio do modelo de correção de erro vetorial com *threshold* (TVEC).

Neste estudo, busca-se avançar na investigação do setor pecuário, empregando uma metodologia de vetores autorregressivos com parâmetros dinâmicos ao longo do tempo, focando em uma área de destaque na produção pecuária do Brasil: o Paraná.

3 Metodologia

Para ser possível analisar o comportamento e evolução da transmissão de volatilidade no tempo entre as variáveis do setor da pecuária paranaense, foram escolhidas as séries de preço mensais para as *commodities* pecuárias Boi Gordo, Boi magro para engorda, Frango vivo, Leite, Ovo Grande, Suíno Raça, Milho e Soja, e a taxa de câmbio – venda, para o período de janeiro de 1995 e março de 2024.

As séries para as *commodities* agropecuárias foram obtidas por meio da Secretaria da Agricultura e do abastecimento do estado do Paraná, pelo Departamento de Economia Rural (SEAB-DERAR); já a série da taxa de câmbio foi obtida por meio do Banco Central do Brasil no Sistema Gerenciador de Séries Temporais (SGS). A fim de utilizar a volatilidade como medida para risco, calcula-se essa proxy ao estimar as variações percentuais nos preços para obter a série de retorno correspondente para cada variável, em termos absolutos ($|Y_{it}|$).

A partir destes dados, a metodologia do trabalho utiliza a abordagem sistemática desenvolvida por Furuoka et al. (2023) que reúne três métodos para observar o comportamento de volatilidade e risco entre mercados, de modo a estimar a interconexão de curto e longo prazo de *commodities* de origem animal, grãos utilizados para a ração e a taxa de câmbio, usando uma combinação da variação do modelo TVP-VAR, baseando-se na adaptação de pesquisas anteriores, respectivamente: Chatziantoniou et al. (2021) e Adekoya et al. (2022).

O primeiro passo é estimar a versão da frequência do modelo dinâmico de TVP-VAR, o segundo realizar a decomposição da frequência das medidas de conectividades entre curto e longo prazo, o terceiro é fazer uma análise de assimetria sobre os retornos destas medidas de conexão. Por último, o quarto passo desta metodologia não será desenvolvido neste trabalho, mas consistirá na elaboração de um portfólio fictício que considera as variáveis empregadas no modelo e propõe uma estratégia de gestão voltada para a maximização dos lucros e a minimização dos riscos. Nesse sentido, no primeiro passo, o processo TVP-VAR(p) é definido por:

$$\Phi_{1t}x_{t-1} + \Phi_{2t}x_{t-2} + \dots + \Phi_{pt}x_{t-p} + u_t \quad (1)$$

Em que, x_t , x_{t-1} e u_t são vetores dimensionais $N \times 1$, e $u_t \sim N(0, \Sigma_t)$. Os parâmetros Φ_{it} , com $i = 1, \dots, p$ são as matrizes $N \times N$ dimensionais de variância-covariância, que variam no tempo, da variável dos coeficientes VAR.

Com qualquer vetor do processo estacionário de séries temporais, x_t , o modelo descrito na Equação 1 pode ser reescrito em TVP-VMA(∞) como $x_t = \Psi(B)u_t$ onde $\Psi(B)$ é a matriz das médias móveis do polinômio de defasagem obtida a partir de $\Phi(B) = [I_N - \Phi_{1t}B - \dots - \Phi_{pt}B^p]$ sendo I_N uma matriz identidade. O parâmetro $\Psi(B)$ inclui um número infinito de defasagens que são aproximadas por $\Psi_h(B)$ para $h = 1, \dots, H$ horizontes. O cálculo da versão ortogonal da decomposição da previsão generalizada de erro da variância (GFEVD) é utilizado, de forma GFEVD é a resposta de choques de todas as variáveis j a um choque i , em termos de previsão de erro da variância, de acordo com:

$$\tilde{\theta}_{jk,t}(H) = (\Sigma_t)^{-1}_{kk} \sum_{h=0}^H \left[(\Psi_h \Sigma_t)_{jkt} \right]^2 / \sum_{h=0}^H (\Psi_h \Sigma_t \Psi_h')_{jj} \quad (2)$$

A variável $\tilde{\theta}_{jk,t}(H)$ resulta na contribuição total de j_{th} termos de previsão de erro da variância para as variáveis i_{th} no horizonte de previsão H . O numerador da Equação 3 resulta nos efeitos cumulativos do choque recebido na variável j causados pela variável j , enquanto o denominador resulta dos efeitos totais cumulativos das interconexões da rede como um todo. E, pela teoria, ambos necessitam ser normalizados para que somem 1, cujo processo é dado por:

$$\theta_{jk,t}(H) = \frac{\tilde{\theta}_{jk,t}(H)}{\sum_{k=1}^n \tilde{\theta}_{jk,t}(H)} \quad (3)$$

$$\text{Em que, } \sum_{k=1}^n \theta_{jk,t}(H) = 1 \text{ e } \sum_{j,k=1}^n \theta_{jk,t}(H) = n.$$

Para obter a frequência da conectividade total do modelo TVP-VAR e suas respectivas medidas é feita a decomposição da previsão de erro da variância (obtida a partir da Equação 2) entre curto e longo prazo. A conectividade de frequência que varia no tempo é alcançada ao integrar a conectividade de frequência do modelo no modelo dinâmico de TVP-VAR descrito anteriormente. Portanto, trocando o domínio tempo pelo domínio frequência, a decomposição da transformada de Fourier do modelo TVP-VMA (∞) em (1) é descrita por:

$$S_x(\omega) = \sum_{h=-\infty}^{\infty} E(x_t x'_{t-h}) e^{-i\omega h} = \Psi(e^{-i\omega h}) \Sigma_t \Psi'(e^{-i\omega h}) \quad (4)$$

Em que, $i = (-1)^{\frac{1}{2}}$ e ω é a frequência de Fourier.

Utilizando da combinação da Equação 4 com a Equação 2, obtêm-se o fator de normalização, ou indicador de frequência, dado por:

$$\tilde{\varphi}_{jk,t}(\omega) = (\Sigma_t)_{kk}^{-1} \left| \sum_{h=0}^H \left(\Psi(e^{-i\omega h}) \Sigma_t \right)_{jkt} \right|^2 / \sum_{h=0}^H \left(\Psi(e^{-i\omega h}) \Sigma_t \Psi'(e^{-i\omega h}) \right)_{jj} \quad (5)$$

Em que, onde $\tilde{\varphi}_{jk,t}(\omega)$ faz parte do espectro da variável j_{th} sob a frequência ω que é atribuída ao choque na k_{th} variável.

A versão normalizada da frequência GFEVD é dada por:

$$\bar{\varphi}_{jk,t}(\omega) = \tilde{\varphi}_{jk,t}(\omega) / \sum_{k=1}^n \tilde{\varphi}_{jk,t}(\omega) \quad (6)$$

A decomposição da frequência da conectividade possibilita todas as frequências serem agregadas à banda d . Logo, a conectividade das frequências promove a informação sobre os efeitos *spillover* nesta banda de frequência d .

$$\bar{\varphi}_{jk,t}(d) = \int_a^b \bar{\varphi}_{jk,t}(\omega) d\omega \quad (7)$$

Em que, $d = (a, b) : a, b \in (-\pi, \pi), a < b$.

As medidas de conectividade são obtidas por meio da abertura da decomposição da variância na Equação 6. O impacto médio de um choque em uma variável específica j sobre outro conjunto de variáveis k é considerada como o nível de interconexão na rede, e isso é representado pelo Índice Médio de Conexão Total ($TFCI_{jk}$) de j com qualquer uma das k variáveis. Este índice avalia o risco de mercado ao fornecer uma medida média dos efeitos *spillover* que uma variável j transmite para (PARA) ou recebe de (DE) outra variável j . Portanto,

o $TFCI_{jk}$ é determinado pela média da conectividade total variável ao longo do tempo na rede, representada por o $TFCI_t(d)$ onde d é a dimensão da rede. O cálculo é obtido por:

$$TFCI_t(d) = n^{-1} \sum_{j=1}^n PARA_{j,t}(d) = n^{-1} \sum_{j=1}^n DE_{j,t}(d) \quad (8)$$

Em que, $TFCI_t(d)$ é o Índice Médio de Conexão Total, no período t da rede (d) ; $PARA_{j,t}(d)$ é um componente do índice que representa a conexão direcional de um choque originado na variável j que é transmitido para as k variáveis; e $DE_{j,t}(d)$ é o componente que representa o efeito (ou quantia) de um choque na variável j que é recebido de todas as outras k variáveis, ou seja, é a conexão total direcional de outros.

O subíndice $PARA_{j,t}(d)$ e sua relação com $DE_{j,t}(d)$ é calculado a partir de:

$$PARA_{j,t}(d) = \sum_{j=1, j \neq k}^n \varphi_{kj,t}(d) DE_{j,t}(d) = \sum_{j=1, j \neq k}^n \varphi_{jk,t}(d) \quad (9)$$

A diferença entre $PARA_{j,t}(d)$ e $DE_{j,t}(d)$, representada por $NET_{j,t}(d)$, é o resultado líquido entre as transmissões de volatilidade que uma variável j repassa às outras e recebe das outras, dado um período t , é definida por:

$$NET_{j,t}(d) = PARA_{j,t}(d) - DE_{j,t}(d) \quad (10)$$

Em um nível bilateral, onde os mercados estão emparelhados, a Conexão Direcional Líquida de Frequência Par-a-Par (NPDFC), que avalia a transferência de riscos entre pares específicos de variáveis em uma rede, indicando a direção líquida em que os choques são transmitidos ao longo do tempo.

Essa medida é calculada a partir da conexão direcional líquida conforme a Equação 11, sendo que quando $NPDFC_{jk,t}(d) > 0$, indica que uma variável específica, j , exerce uma influência mais significativa sobre outra variável específica, k , em termos de conexão.

$$NPDFC_{jk,t}(d) = NET_{j,t}(d) - NET_{k,t}(d) \quad (11)$$

Em que, $NET_{j,t}(d)$ e $NET_{k,t}(d)$ são respectivamente os volumes de transmissão de volatilidade que uma variável j exerce sobre o seu par momentâneo k , e vice-versa, de modo que a medida geral que demonstra o volume líquido dessa transmissão é retirada do volume total repassado pela rede, mas filtrando apenas as variáveis específicas em questão.

Por fim, para ser possível analisar o nível e força da conexão dos pares, Gabauer (2021) criou o Índice de conectividade par a par (PCI), que mede numa escala de 0 a 100 a decomposição em nível dessa interconexão entre duas variáveis i e j , na qual PCI representa a formação do índice, em que a variável $\tilde{\psi}_{ab,t}^g$ generalizada significa as decomposições de variância de erro de previsão generalizadas (GFEVD) e K significa o horizonte de previsão do erro, de acordo com:

$$PCI_{ij,t}^g(K) = 2 \left(\frac{\tilde{\psi}_{ij,t}^g(K) + \tilde{\psi}_{ji,t}^g(K)}{\tilde{\psi}_{ii,t}^g(K) + \tilde{\psi}_{ij,t}^g(K) + \tilde{\psi}_{ji,t}^g(K) + \tilde{\psi}_{jj,t}^g(K)} \right), 0 \leq PCI_{ij,t}^g(K) \leq 1 \quad (12)$$

Desta forma, o trabalho estende a abordagem original de conectividade introduzida por Diebold e Yilmaz (2012). Essa extensão permite que as variâncias oscilem de acordo com uma estimação de filtro de Kalman de volatilidade estocástica com fatores de esquecimento

propostos por Koop & Korobilis (2013). Nesse âmbito, a metodologia considera as limitações associadas ao tamanho arbitrariamente escolhido da janela móvel, que poderia resultar em parâmetros erráticos ou achatados e perda de observações valiosas. Consequentemente, essa abordagem possibilita o exame da conectividade dinâmica em frequências mais baixas e com dados de séries temporais limitados.

4 Resultados e Discussões

4.1 Séries de preço e volatilidade

Consoante a metodologia, há a necessidade de que as séries de volatilidade sejam não normais nos resíduos e que exista assimetria dentre esses valores, o que é comprovado ao observar os comportamentos leptocúrticos das séries, com exceção da soja. A assimetria foi significativamente diferente de zero na maioria das séries, exceto Frango Vivo e Leite. O teste de normalidade de Jarque-Bera (JB) demonstrou não-normalidade nas séries, com exceção da soja. O teste de raiz unitária ERS de Elliott et al. (1992) confirmou que os retornos são estacionários, como esperado. Estas características suportam a investigação da conectividade dos mercados de retornos ou volatilidade utilizando TVP-VAR, ou seus valores absolutos transformados (Tabela 1).

Tabela 1. Estatísticas descritivas e correlação entre os retornos das séries de preço, *commodities* pecuárias e grãos no Paraná e taxa de câmbio.

Painel a) Estatísticas Descritivas.

Var.	BOG	BOM	FRG	LTE	OVO	SUI	MILHO	SOJA	R\$/US
Média	0,706***	0,714***	0,611***	0,768***	1,109**	0,744**	0,849**	0,843***	0,589***
Variância	13,121***	13,062***	16,432***	23,223***	74,116***	46,176***	52,250***	36,332***	17,062***
Assimetria	0,989***	0,486***	0,173	0,172	0,824***	0,476***	0,341***	0,310**	1,857***
Curtose	3,536***	1,755***	0,940***	0,626**	1,066***	2,226***	0,647**	0,145	9,282***
JB	238,726***	58,528***	14,590***	7,419**	55,971***	85,222***	12,862***	5,897*	1453,555***
ERS	-5,703***	-4,161***	-1,330	-11,681***	-7,373***	-3,010***	-2,016**	-7,607***	-6,513***
Q(20)	46,025***	31,360***	43,426***	359,168***	48,284***	53,512***	66,164***	81,005***	57,513***
Q ² (20)	13,624	15,435	14,388	66,145***	33,285***	16,674*	11,282	16,019*	63,553***

Nota: Os asteriscos indicam os níveis de significância estatística: * p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01.

Painel b) Correlação de Pearson.

Var.	BOG	BOM	FRG	LTE	OVO	SUI	MILHO	SOJA	R\$/US
BOG	1,000***	0,858***	0,232***	0,041	0,012	0,328***	0,279***	0,209***	0,050
BOM	0,858***	1,000***	0,185***	0,077	-0,005	0,272***	0,190***	0,152***	0,032
FRG	0,232***	0,185***	1,000***	0,110**	0,159***	0,398***	0,202***	0,225***	0,064
LTE	0,041	0,077	0,110**	1,000***	0,080	0,060	0,028	-0,036	-0,121**
OVO	0,012	-0,005	0,159***	0,080	1,000***	0,057	0,054	-0,028	0,006
SUI	0,328***	0,272***	0,398***	0,060	0,057	1,000***	0,193***	0,209***	0,034
MILHO	0,279***	0,190***	0,202***	0,028	0,054	0,193***	1,000***	0,527***	0,112**
SOJA	0,209***	0,152***	0,225***	-0,036	-0,028	0,209***	0,527***	1,000***	0,335***
R\$/US	0,050	0,032	0,064	-0,121**	0,006	0,034	0,112**	0,335***	1,000***

Nota: Os asteriscos indicam os níveis de significância estatística: * p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01.

Fonte: Elaboração dos autores (2024).

Nota 1: As variáveis são: Boi Gordo (BOG), Boi Magro p/ Engorda (BOM), Frango Vivo (FRG), Ovo Grande (OVO), Suíno Raça (SUI), e R\$/US\$ é a Taxa de Câmbio. **Nota 2:** Os testes são: Teste de Normalidade de Jarque-Bera (JB), teste de raiz unitária de Elliott, Rothenberg e Stock (ERS). Q(20) e Q²(20) são estatísticas Ljung-Box para testar a autocorrelação nos retornos das primeiras 20 defasagens.

Por sua vez, os coeficientes de correlação de Pearson mostram relações significativas entre os vários pares de *commodities*. As correlações mais fortes foram observadas entre Boi Gordo e Boi Magro para engorda (0,858), e entre Milho e Soja (0,527), sugerindo movimentos similares entre esses pares. Correlações moderadas também foram encontradas entre Frango Vivo e Suíno Raça (0.398), indicando certa interdependência.

4.2 Conectividade geral

Os resultados do modelo TVP-VAR, em que cada célula na interseção de uma linha e uma coluna indica a contribuição percentual da variável da coluna para a variável da linha, ou seja, os resultados da análise de conectividade TVP-VAR revelam a dinâmica de influências entre diferentes *commodities* e variáveis econômicas (Tabela 2).

Tabela 2. Tabela de conectividade total.

	BOG	BOM	FRG	LTE	OVO	SUI	MILHO	SOJA	R\$/U\$	DE
BOG	57,90	30,66	2,17	1,58	1,80	1,34	2,04	1,09	1,42	42,10
BOM	31,31	56,12	2,23	1,11	1,41	1,85	3,47	1,03	1,45	43,88
FRG	4,26	5,27	76,43	1,58	2,43	2,02	5,26	1,83	0,91	23,57
LTE	2,53	2,47	1,15	85,58	1,87	2,29	0,98	1,44	1,68	14,42
OVO	2,66	1,92	3,25	2,38	80,79	2,50	2,17	2,73	1,61	19,21
SUI	3,05	3,15	4,39	1,31	2,46	74,99	4,40	2,67	3,59	25,01
MILHO	3,86	4,93	2,58	0,81	2,71	3,42	72,07	8,48	1,15	27,93
SOJA	1,37	1,25	1,87	1,75	2,08	2,84	7,96	76,39	4,49	23,61
R\$/U\$	2,91	2,38	1,93	2,35	1,62	1,15	2,25	3,69	81,72	18,28
PARA	51,96	52,04	19,57	12,87	16,38	17,40	28,53	22,96	16,30	238,01
INC OWN	109,86	108,16	96,00	98,45	97,17	92,38	100,61	99,35	98,02	cTCI/TCI
NET	9,86	8,16	-4,00	-1,55	-2,83	-7,62	0,61	-0,65	-1,98	29,75/26,45

Fonte: Elaboração dos autores (2024).
Nota 1: As variáveis são: Boi Gordo (BOG), Boi Magro p/ Engorda (BOM), Frango Vivo (FRG), Ovo Grande (OVO), Suíno Raça (SUI), e R\$/U\$ é a Taxa de Câmbio. **Nota 2:** Contribuições de cada variável: contribuições da variável da coluna para todas as outras variáveis (PARA), a soma das contribuições de cada variável para si mesma e para todas as outras variáveis (INC OWN), diferença líquida entre as contribuições feitas pela variável e as contribuições recebidas de outras variáveis (NET), contribuições da variável da linha, para todas as outras variáveis (DE). **Nota 3:** cTCI/TCI compara a conectividade condicional (cTCI) com a conectividade total (TCI).

Observa-se que a maioria das variáveis é fortemente auto influenciada. Por exemplo, Boi Gordo tem uma alta contribuição para si, com 57.90%, e é significativamente influenciado por Boi Magro para engorda, com 30.66%. A contribuição líquida (NET) de Boi Gordo é positiva, com 9.86, indicando que esta variável é mais influenciadora do que influenciada.

Por sua vez, Frango Vivo se destaca por ser auto influenciado, com 76.43%, e tem uma menor influência de outras variáveis. Sua NET é negativa, com -4.00, sugerindo que é mais influenciado do que influenciador. Leite segue um padrão semelhante, sendo altamente auto influenciado, com 85.58%, e apresentando uma NET ligeiramente negativa, com -1.55, o que indica uma influência externa limitada. Ovo Grande e Suíno Raça também mostram alta auto influência, com 80.79% e 74.99%, respectivamente, e NETs negativas, com -2.83 e -7.62, sugerindo que são mais influenciados por outras variáveis do que influenciam.

Milho e Soja demonstram uma interconectividade moderada. Milho contribui significativamente para Soja, com 7.96%, e Soja, por sua vez, contribui para Milho com 8.48%. Milho tem uma NET ligeiramente positiva, com 0.61, enquanto Soja apresenta uma NET ligeiramente negativa, com -0.65. Esta relação de troca indica que ambas as *commodities* têm uma influência considerável uma sobre a outra, sendo importantes para entender a dinâmica dos mercados agrícolas e estratégias de *hedging*.

Taxa de câmbio é altamente auto influenciada, com 81.72%, e possui uma NET negativa, com -1.98, indicando que é mais influenciado por outras variáveis do que influencia. De forma geral, a análise de conectividade TVP-VAR proporciona uma visão detalhada das interações entre diversas *commodities* e variáveis econômicas, revelando a importância de compreender a transmissão de choques entre mercados e as implicações para estratégias de diversificação em portfólios.

Os resultados indicam que Boi Gordo, com um valor de 9.86, é o principal transmissor de volatilidade para a rede. Este alto valor positivo sugere que ele tem uma forte influência nas flutuações de preços dos outros itens. O Boi Magro para engorda também é um transmissor significativo, com um valor de 8.16, indicando uma influência considerável.

Por outro lado, Frango Vivo (-4.00), Leite (-1.55), Ovo Grande (-2.83), Suíno Raça (-7.62) e Taxa de Câmbio (-1.98) possuem valores negativos, o que significa que esses itens tendem a receber volatilidade da rede, ou seja, são mais suscetíveis às influências dos outros itens na tabela.

O Milho (0.61) e a Soja (-0.65) têm valores próximos de zero, sugerindo que eles têm uma influência menor na rede em comparação aos outros produtos. No entanto, o Milho, com um valor ligeiramente positivo, ainda transmite alguma volatilidade, enquanto a Soja, com um valor ligeiramente negativo, recebe um pouco de volatilidade.

Em relação ao comportamento da conectividade média ao longo do tempo (Figura 1) identificam-se múltiplos períodos de oscilações significativas ao longo do tempo, que refletem os impactos de eventos econômicos e geopolíticos com uma maior magnitude, ligados às crises econômicas citadas anteriormente. A figura evidencia os efeitos de eventos econômicos e geopolíticos nas últimas décadas, apresentando ciclos de altas e baixas associados a crises e eventos significativos, com picos de volatilidade durante períodos de incerteza e períodos de estabilização nos períodos de resolução das crises.

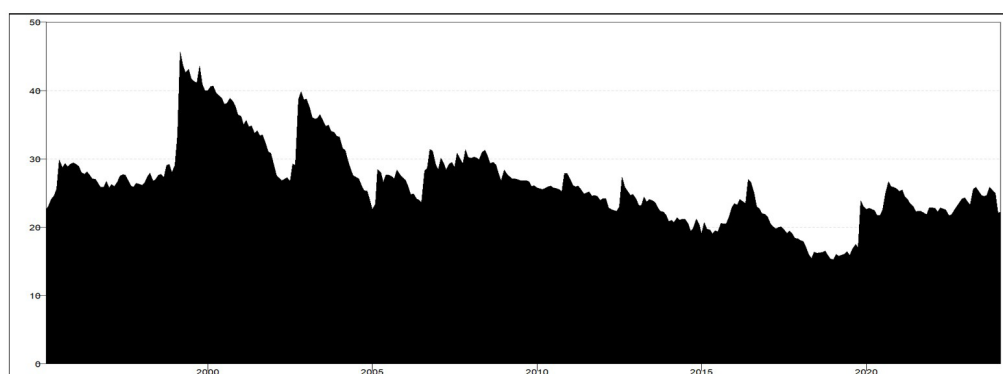


Figura 1. Conectividade dinâmica total.

Fonte: Elaboração própria (2024).

A Figura 2 mostra a contribuição de risco líquido ao mercado, dada pela conectividade direcional total líquida da rede, por parte de cada variável. É observado que a carne bovina tem comportamento de dominância na transmissão de choques de volatilidade, enquanto a carne suína e de frango possuem comportamento de receptores de risco, mas principalmente a suína, com comportamento espelhado e inverso à carne bovina.

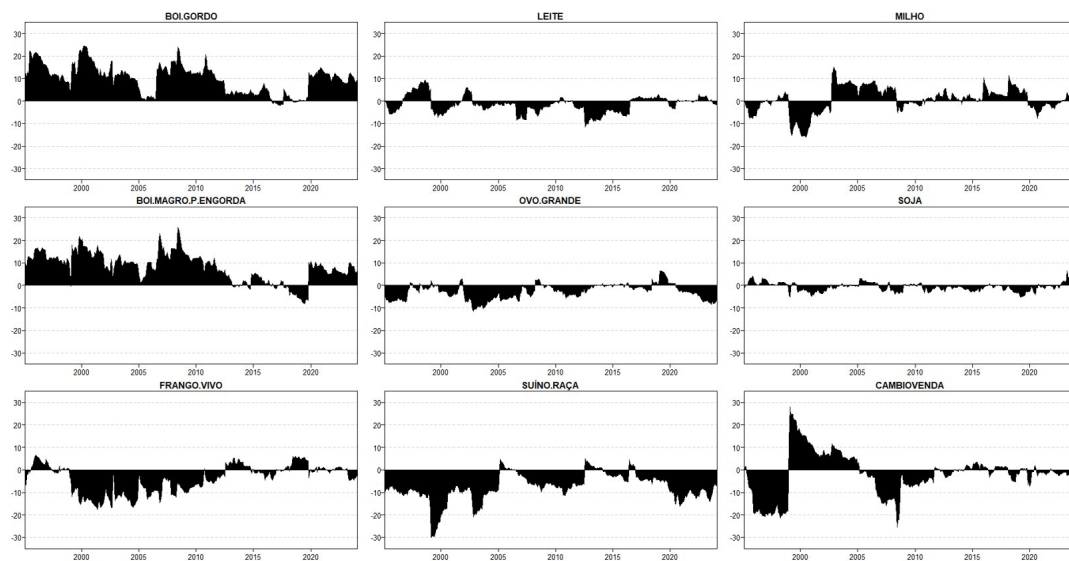


Figura 2. Conectividade direcional total líquida da rede.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Os resultados do índice de conectividade par a par (PCI) indicam que a conexão Boi Gordo-Boi magro para engorda é a mais forte entre os mercados, seguidas de milho-soja, o que até então é normal dadas as características parecidas intra-mercado, o primeiro tomando duas variáveis de carne bovina e a segunda relação entre duas variáveis no mercado de grãos. As demais relações importantes são dadas pelos impactos entre os mercados de carne bovina, suínos e aviário, de modo que dentre os mercados de proteína animal, aqueles que são específicos de carne são mais impactantes uns nos outros e possuem relações mais fortes de conectividade. Ademais, é interessante notar as relações entre aqueles mercados cuja cadeia produtiva depende do outro, como, por exemplo, e como notado anteriormente, que há a relação moderada entre a suinocultura e ovos contra o mercado de grãos, haja vista a necessidade da cadeia em relação à produção de ração.

Para complementar a análise, é necessário considerar a possibilidade da assimetria de preços, que envolve a decomposição dos retornos das medidas de conectividade. A Figura 3 demonstra a conectividade de rede, em que nós azuis representam transmissores da rede (mercado de carne bovina), e os nós amarelos, receptores de rede (demais componentes), de modo que, em cada caso, o tamanho do nó indica a força de transmissão ou recepção do mercado na rede.

4.3 Conectividade assimétrica

Analisando a assimetria dos mercados e da rede como um todo, de modo que se é possível observar a assimetria na rede de transmissão de volatilidade, os retornos variam entre positivos e negativos ao calcular a variação percentual dos preços (Adekoya et al., 2022). A Tabela 3 apresenta uma análise dos retornos de conectividade entre diferentes ativos.

Ao analisar os valores totais dos retornos, a diferença entre os dois valores médios dos coeficientes dos choques — 36,74 para os retornos positivos contra 26,84 para retornos negativos — evidencia uma assimetria na rede. A mesma observação vale para as demais variáveis de forma unitária, nas quais todas apresentam valores muito discrepantes nos retornos totais líquidos ao comparar os retornos positivos e negativos, como, por exemplo, a diferença entre 12,76 (positivo) e -0,21 (negativo) para o Boi Gordo, e -22,21 (positivo) e 3 (negativo) para o Frango Vivo.

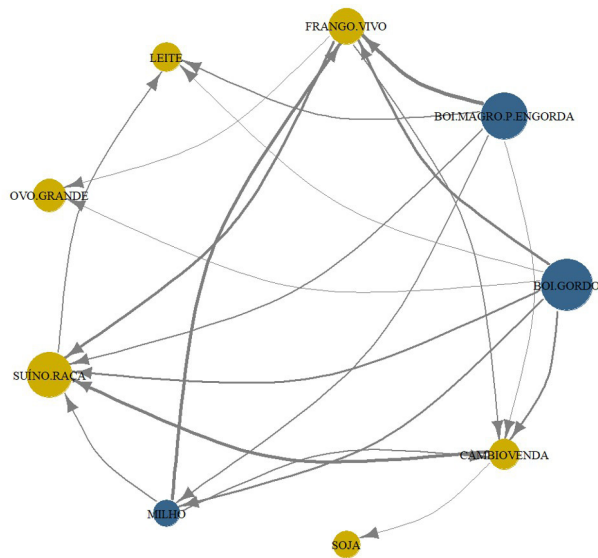


Figura 3. Gráfico de conectividade da rede baseada no NPDC.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Nota: A Figura A2 do Apêndice apresenta os gráficos de Conectividade direcional par a par da rede assimétrica.

Tabela 3. Tabela de retornos de conectividade.

Painel a) Retorno Positivo.

Var.	BOG	BOM	FRG	LTE	OVO	SUI	MILHO	SOJA	R\$/U\$	FROM
BOG	49,42	34,01	3,06	0,58	0,84	3,42	2,93	3,17	2,57	50,58
BOM	35,63	49,86	3,37	0,47	0,73	3,79	1,93	2,10	2,10	50,14
FRG	8,18	7,96	55,49	1,30	1,58	6,70	8,30	8,20	2,28	44,51
LTE	0,65	0,70	1,39	82,19	9,01	1,08	1,71	2,27	1,01	17,81
OVO	0,74	0,65	2,23	1,20	88,97	2,19	1,67	1,12	1,22	11,03
SUI	7,68	5,35	7,62	1,35	1,43	67,01	3,67	4,11	1,78	32,99
MILHO	6,09	4,58	1,35	0,47	0,92	3,25	65,52	16,29	1,53	34,48
SOJA	3,44	2,49	2,33	1,18	0,94	2,73	11,06	64,45	11,39	35,55
R\$/U\$	0,94	0,90	0,94	1,00	1,73	0,98	1,20	9,17	83,13	16,87
TO	63,34	56,65	22,30	7,55	17,19	24,14	32,47	46,45	23,87	293,95
Inc.Own	112,76	106,51	77,79	89,74	106,16	91,15	97,99	110,90	107,00	cTCI/TCI
NET	12,76	6,51	-22,21	-10,26	6,16	-8,85	-2,01	10,90	7,00	36,74/32,66

Painel b) Retornos Negativos.

Var.	BOG	BOM	FRG	LTE	OVO	SUI	MILHO	SOJA	R\$/U\$	FROM
BOG	57,10	30,39	4,21	0,95	0,81	3,50	1,54	0,43	1,07	42,90
BOM	33,44	58,52	1,83	0,64	1,19	1,89	0,83	0,39	1,29	41,48
FRG	1,34	1,18	78,69	0,79	2,27	5,70	7,19	1,86	0,99	21,31
LTE	1,39	0,77	1,56	86,61	1,46	2,65	0,82	3,00	1,74	13,39
OVO	0,77	1,08	1,89	1,56	89,75	2,17	1,07	0,57	1,15	10,25

Fonte: Elaboração dos autores (2024).
Nota 1: As variáveis são: Boi Gordo (BOG), Boi Magro p/ Engorda (BOM), Frango Vivo (FRG), Ovo Grande (OVO), Suíno Raça (SUI), e R\$/U\$ é a Taxa de Câmbio. **Nota 2:** Contribuições de cada variável: contribuições da variável da coluna para todas as outras variáveis (PARA), a soma das contribuições de cada variável para si mesma e para todas as outras variáveis (INC OWN), diferença líquida entre as contribuições feitas pela variável e as contribuições recebidas de outras variáveis (NET), contribuições da variável da linha, para todas as outras variáveis (DE). **Nota 3:** cTCI/TCI compara a conectividade condicional (cTCI) com a conectividade total (TCI).

Tabela 3. Continuação...

Painel b) Retornos Negativos.

Var.	BOG	BOM	FRG	LTE	OVO	SUI	MILHO	SOJA	R\$/U\$	FROM
SUI	3,26	0,96	9,12	0,75	1,18	78,47	1,89	2,39	1,98	21,53
MILHO	1,36	1,14	2,42	2,45	1,22	1,64	77,42	11,03	1,32	22,58
SOJA	0,34	0,46	1,78	1,08	0,56	2,64	13,77	74,00	5,37	26,00
R\$/U\$	0,80	0,64	1,51	2,70	1,20	1,61	0,99	5,79	84,76	15,24
TO	42,69	36,62	24,31	10,93	9,89	21,80	28,10	25,46	14,90	214,69
INC OWN	99,79	95,14	103,00	97,54	99,64	100,26	105,52	99,46	99,66	cTCI/TCI
NET	-0,21	-4,86	3,00	-2,46	-0,36	0,26	5,52	-0,54	-0,34	26,84/23,85

Fonte: Elaboração dos autores (2024).
Nota 1: As variáveis são: Boi Gordo (BOG), Boi Magro p/ Engorda (BOM), Frango Vivo (FRG), Ovo Grande (OVO), Suíno Raça (SUI), e R\$/U\$ é a Taxa de Câmbio. **Nota 2:** Contribuições de cada variável: contribuições da variável da coluna para todas as outras variáveis (PARA), a soma das contribuições de cada variável para si mesma e para todas as outras variáveis (INC OWN), diferença líquida entre as contribuições feitas pela variável e as contribuições recebidas de outras variáveis (NET), contribuições da variável da linha, para todas as outras variáveis (DE). **Nota 3:** cTCI/TCI compara a conectividade condicional (cTCI) com a conectividade total (TCI).

A Figura 4 apresenta o gráfico que reúne o modelo de conectividade dinâmica total (área em preto, agora representando a parte simétrica) e o modelo de conectividade assimétrica (linhas verdes – retornos positivos; linhas vermelhas – retornos negativos, representando a parte assimétrica). Desta forma, constata-se que há uma certa diferença na área total do modelo, causada pela variação dos estimadores baseados nos domínios do tempo e da frequência.

Percebe-se que a conectividade total ao longo do tempo permaneceu em ascensão até 2005, apresentou uma leve e estável queda, mas teve uma forte alta após o início da Pandemia Covid-19, sendo que, durante todo o período, a série da conectividade total se comportou e se aproximou muito da série de retornos negativos.

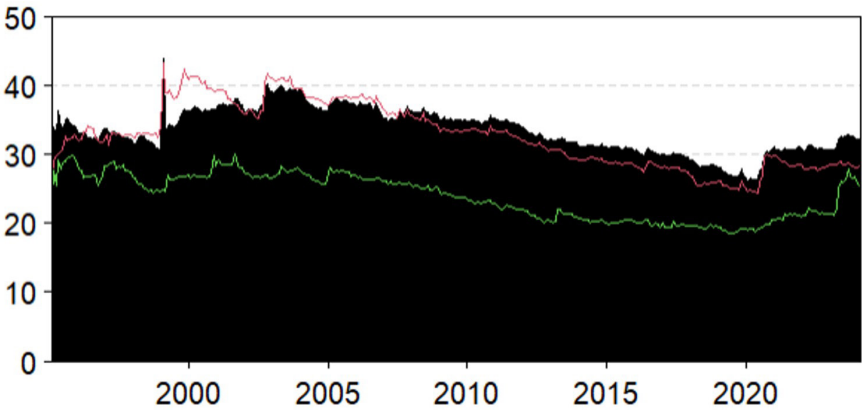


Figura 4. Assimetria da Conectividade total dinâmica.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Nota: A Figura A3 do Apêndice apresenta os gráficos de Assimetria da Conectividade direcional par a par da rede.

Dentre as relações mais fortes entre si, os retornos negativos significativos são normalmente mais dominantes e duram mais, indicando a alta integração do mercado pecuário e a absorção das incertezas do mercado. Entre elas, destacam-se Boi Gordo e Boi Magro para engorda, cuja tendência se manteve conforme os ciclos pecuários até 2010, com queda mantida até 2020, quando, após a pandemia, o índice apresentou um salto.

Suínos e suas relações com milho e soja indicam uma estabilidade ao longo do tempo, que pode ser atribuída à composição constante dessas *commodities* nas rações para suínos. Milho e soja são ingredientes fundamentais nas dietas de suínos, devido ao seu papel essencial na oferta de energia e proteína, respectivamente. O milho é uma importante fonte de carboidratos e energia, enquanto a soja fornece proteínas e aminoácidos essenciais. Portanto, a relação estável observada no gráfico reflete a dependência contínua desses componentes na dieta suína, influenciando diretamente os padrões de conectividade entre os preços desses produtos ao longo do tempo.

Milho e Soja, de forma que a alta correlação observada entre milho e soja pode ser explicada por vários fatores, como, por exemplo, que ambos os grãos são frequentemente cultivados nas mesmas regiões, o que resulta em uma concorrência por terras agrícolas e pode afetar os preços e a oferta de ambos. Além disso, milho e soja são ingredientes chave na formulação de rações para animais, o que significa que mudanças nos preços de uma cultura podem impactar a demanda e os preços da outra. Fatores como condições climáticas adversas e políticas agrícolas também afetam ambos os mercados de maneira semelhante, criando uma correlação nos preços. Por fim, a demanda global por produtos derivados de milho e soja, como ração animal e biocombustíveis, pode levar a movimentos de preços sincronizados para essas *commodities*. Portanto, a forte relação entre milho e soja no gráfico reflete a interação entre esses fatores e suas influências comuns nos mercados dessas *commodities*.

E interações como aquelas representadas por carnes diferentes, como Boi Gordo e Suíno Raça, Boi Magro para engorda e Suínos, e Boi Gordo e Frango Vivo. Essas relações podem ser atribuídas a fatores como a competição no mercado de proteínas animais e as mudanças nos preços da ração, que afetam o custo de produção das diversas carnes, podendo criar uma relação entre seus preços. Além disso, a demanda por uma proteína pode influenciar a da outra, pois os consumidores podem substituí-las com base em preços e disponibilidade. Fatores que impactam a cadeia de suprimentos e a produção de carne, como condições climáticas e políticas agrícolas, também podem afetar ambos os mercados simultaneamente. Ainda, deve-se considerar as oscilações e relações do mercado internacional de carnes, que podem variar ao longo do tempo, impactando diretamente a outra cadeia produtiva.

Os resultados da presente pesquisa corroboram e ampliam achados da literatura sobre conectividade e transmissão de choques nos mercados de *commodities* agrícolas e financeiros. A pesquisa identificou semelhanças com a literatura existente. Em primeiro lugar, observou-se a predominância de certas *commodities* na transmissão de choques. Os resultados apontaram que o Boi Gordo e o Boi Magro para engorda atuam como principais transmissores líquidos de volatilidade. Esse achado está alinhado a estudos como o de Anand & Mishra (2024), que identificaram milho e soja como transmissores líquidos de volatilidade, sugerindo que *commodities* essenciais na cadeia produtiva desempenham um papel central na transmissão de choques. Além disso, o comportamento dominante do Boi Gordo em relação à carne suína e de frango reflete os resultados de Polat et al. (2023), que demonstraram como certos mercados, especialmente os de *commodities* estratégicas, lideram a rede de transmissão. Ainda sobre esse assunto, os resultados indicam que a volatilidade do mercado de boi gordo pode estar ligada à assimetria de informação trazida pelos investidores, como o preço à vista e escala de abate, assim como pela informação assimétrica no mercado internacional, o que corrobora com os achados da pesquisa de Urso (2007).

A análise também revelou impactos de eventos críticos na economia internacional na conectividade total, com picos de influência durante crises como a pandemia de Covid-19 e o conflito entre Rússia e Ucrânia. Esses resultados são consistentes com os obtidos por Wu et al. (2023), Polat et al. (2024) e Capitani & Gaio (2023), que também identificaram aumento significativo

na conectividade da volatilidade em eventos de estresse global. Ademais, confirmou-se que *commodities* como Frango Vivo e Suíno Raça atuam predominantemente como receptores de volatilidade, em consonância com os achados de Cagli et al. (2023), que destacaram o papel de *commodities* específicas como receptoras líquidas na rede.

As interações entre milho, soja e carnes destacadas neste estudo também refletem observações semelhantes às de Owusu Junior et al. (2022), que identificaram o óleo vegetal como principal transmissor na cadeia alimentar, reforçando a dinâmica entre produtos essenciais das cadeias de produção animal e vegetal. Um ponto de distinção foi o achado de uma influência relativamente fraca da taxa de câmbio em comparação a outras *commodities*, divergindo de estudos como o de Capitani e Gaio (2023), que destacaram o papel mais forte da flutuação cambial em contextos internacionais. Nesse contexto, a baixa influência da taxa de câmbio identificada nesta pesquisa, em contraste com o que é descrito na literatura, pode ser explicada pela crescente internalização das cadeias produtivas e pela diversificação geográfica da produção. Um exemplo disso é o milho, cuja expansão na produção da região Centro-Oeste e utilização para a produção de etanol têm reduzido a sensibilidade direta ao câmbio em determinados momentos.

Dada a conectividade observada nos mercados estudados, torna-se essencial considerar as implicações práticas desses resultados no contexto local. Embora muitos dos resultados estejam em conformidade com a literatura já estabelecida, esta pesquisa oferece novos elementos ao aprofundar a investigação sobre a assimetria na conectividade dos retornos, uma perspectiva ainda pouco explorada na literatura brasileira, especialmente em *commodities* agropecuárias. A abordagem distinta ao isolar choques positivos e negativos evidencia padrões variados na dinâmica de transmissão da volatilidade, oferecendo subsídios tanto para a formulação de políticas públicas quanto para estratégias privadas de gerenciamento de risco.

Em relação à gestão de risco privado, a análise da conectividade entre mercados pode contribuir para aumentar a eficiência dos instrumentos de gestão de risco de preço, no mercado de derivativos, *over the counter* (OTC) ou contratos futuros. Por um lado, podem surgir novos mecanismos para mitigar o risco conjunto de vários elos de uma cadeia produtiva; por outro, pode-se contribuir para a expansão desses ativos por meio de operações de *cross hedging*.

Por fim, sugere-se que pesquisas futuras aprofundem as transformações dinâmicas no mercado de milho. Observa-se que o milho passou por uma mudança temporal e espacial nos últimos anos, com a produção deslocando-se do Sul para o Centro-Oeste do Brasil, além da alteração do foco produtivo, que antes estava na primeira safra e agora está na segunda. Além disso, o uso crescente do milho na produção de etanol adiciona uma nova dinâmica ao mercado, conectando-o mais intensamente ao setor de biocombustíveis e, indiretamente, ao mercado de *commodities*, o que pode impactar o setor indiretamente, por meio de *spillovers* e transbordamento de volatilidade. O aumento das exportações também sugere uma maior conexão com mercados externos e com a taxa de câmbio, potencialmente intensificando sua influência no futuro. Estudos futuros devem investigar essas tendências e suas implicações para os mercados agrícolas e financeiros brasileiros.

5 Conclusões

Considerando o processo de expansão dos mercados de proteína animal no Brasil, tão quanto pelo aumento dos níveis de interconexão entre os mercados de *commodities*, esta pesquisa explora o potencial das medidas de conectividade e transmissão de volatilidade entre as mudanças nos preços no setor pecuário paranaense do país e suas respectivas oscilações, como as *commodities* pecuárias (Boi Gordo, Boi magro para engorda, Frango vivo, Leite, Ovo Grande, Suíno Raça), grãos de ração (Milho e Soja) e da taxa de câmbio.

Para medir a conectividade, a metodologia adotada no trabalho foi aquela amplificada e consolidada por Furuoka et al. (2023) que permite segregar os comportamentos líquidos dos receptores e transmissores de volatilidade à rede, agregando a estimativa da versão de frequência do modelo dinâmico de time-varying parameter VAR, a decomposição da frequência das medidas de conectividade e a análise da assimetria sobre os retornos das medidas de conexão. O período de amostragem analisado neste trabalho estende-se de janeiro de 1995 a fevereiro de 2024.

Considerando os principais resultados do trabalho, observa-se que há a existência da assimetria de transmissão de volatilidade para o mercado pecuário, com períodos de oscilação significativa principalmente relacionados às crises econômicas e aos ciclos pecuários. A carne bovina se apresentou dominante na transmissão de choques, sendo que as carnes suína e de frango apresentaram comportamento de receptoras de risco. Notou-se também que há interessantes conexões entre os mercados cuja cadeia produtiva depende do outro, cuja necessidade da cadeia de produção gera maior força na transmissão de volatilidade. Sobre os retornos, as séries transmissoras de volatilidade indicaram comportamento parecido aos retornos positivos, enquanto as séries receptoras comportamento parecido aos retornos negativos, o que pode evidenciar a dependência do mercado substituto como um importante fator para a conectividade.

Para pesquisas futuras, sugere-se expandir a temática da conectividade para outros mercados de *commodities* e regiões, aprimorar a compreensão sobre como os repasses de volatilidade podem impactar o mercado de cada produto receptor e investigar como as políticas governamentais de regulação de preços contra-cíclicas podem ajudar a mitigar a alta volatilidade em períodos de crise.

Contribuições dos autores:

TFT: Concepção, Metodologia, Análise formal, Software, Validação, Escrita, Visualização, Investigação, Recursos, Curadoria de dados. JMT: Concepção, Validação, Curadoria de dados, Investigação, Escrita - revisão e edição, Supervisão. COP: Validação, Escrita - revisão e edição, Análise formal, Visualização.

Suporte financeiro:

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

Conflitos de interesses:

Nada a declarar

Aprovação do conselho de ética:

Não se aplica

Disponibilidade de dados:

Os dados da pesquisa estão disponíveis somente mediante solicitação.

Agradecimentos

Departamento de Economia Rural (DERAL) da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB-PR).

* Autor correspondente:

Julyerme Matheus Tonin. jntonin@uem.br

6 Referências

- Adekoya, O. B., Akinseye, A. B., Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., Gabauer, D., & Oliyide, J. (2022). Crude oil and Islamic sectoral stocks: Asymmetric TVP-VAR connectedness and investment strategies. *Resources Policy*, 78, e102877. <http://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102877>
- Anand, K., & Mishra, A. K. (2024). Asymmetric TVP-VAR connectedness between highly traded commodities and hedging strategies: Evidence from major contagions. *Borsa Istanbul Review*, 24(6), 1248-1262. <http://doi.org/10.1016/j.bir.2024.07.009>
- Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., & Gabauer, D. (2020). Refined measures of dynamic connectedness based on time-varying parameter vector autoregressions. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(4), 84. <http://doi.org/10.3390/jrfm13040084>
- Barros, G. S. A. C., Carrara, A. F., Silva, A. F., & Castro, N. R. (2021). A inflação dos alimentos em 2020 e seus gatilhos. *Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada*, 1(2), 1-16. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.30237.84964>
- Cagli, E. C., Mandaci, P. E., & Taskin, D. (2023). The volatility connectedness between agricultural commodity and agri businesses: Evidence from time-varying extended joint approach. *Finance Research Letters*, 52, e103555. <http://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103555>
- Capitani, D. H. D., & Gaio, L. E. (2023). Volatility transmission in agricultural markets: Evidence from the Russia-Ukraine conflict. *International Journal of Food and Agricultural Economics*, 11(2), 65-82. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.334707>
- Capitani, D. H. D., & Gaio, L. E. (2025). Dynamic connectedness and volatility spillover in the Brazilian agricultural market in the context of the Covid-19 pandemic. *Estudos Econômicos*, 54, e53575446. <http://doi.org/10.1590/1980-53575446dclg>
- Chatziantoniou, I., Gabauer, D., & Gupta, R. (2021). *Integration and risk transmission in the market for crude oil: A time-varying parameter frequency connectedness approach* (Working Paper Series, no. 2021-47). Pretória: University of Pretoria, Department of Economics Working Paper Series. Recuperado em 20 de setembro de 2024, de https://www.up.ac.za/media/shared/61/WP/wp_2021_47.zp209709.pdf
- Coase, R. H. (1960). The problem of Social Cost. *The Journal of Law & Economics*, 3, 44. <http://doi.org/10.1086/466560>
- Cunado, J., Gabauer, D., & Gupta, R. (2024). Realized volatility spillovers between energy and metal markets: a time-varying connectedness approach. *Financial Innovation*, 10(1), 12. <http://doi.org/10.1186/s40854-023-00554-7>
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. *International Journal of Forecasting*, 28(1), 57-66. <http://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2011.02.006>

- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2015). *Financial and macroeconomic connectedness: a network approach to measurement and monitoring* (pp. 1-265). New York: University of Oxford, Oxford University Press.
- Elliott, G., Rothenberg, T. J., & Stock, J. H. 1992. Efficient tests for an autoregressive unit root. *NBER Technical Working Paper Series*, (130), 1-36. <https://doi.org/10.3386/t0130>
- Forbes, K. J., & Rigobon, R. (2002). No contagion, only interdependence: measuring stock market comovements. *The Journal of Finance*, 57(5), 2223-2261. <http://doi.org/10.1111/0022-1082.00494>
- Furuoka, F., Yaya, O. S., Ling, P. K., Al-Faryan, M. A. S., & Islam, M. N. (2023). Transmission of risks between energy and agricultural commodities: Frequency time-varying VAR, asymmetry and portfolio management. *Resources Policy*, 81, e103339. <http://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103339>
- Gabauer, D. (2021). Dynamic measures of asymmetric & pairwise connectedness within an optimal currency area: Evidence from the ERM I system. *Journal of Multinational Financial Management*, 60(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.mulfin.2021.100680>
- Koop, G., & Korobilis, D. (2013). Large time-varying parameter VARs. *Journal of Econometrics*, 177(2), 185-198. <http://doi.org/10.1016/j.jeconom.2013.04.007>
- Mattos, L. B. D., Lima, J. E. D., & Lirio, V. S. (2009). Integração espacial de mercados na presença de custos de transação: um estudo para o mercado de boi gordo em Minas Gerais e São Paulo. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 47(1), 249-274. <http://doi.org/10.1590/S0103-20032009000100009>
- McNew, K. (1996). Spatial market integration: Definition, theory, and evidence. *Agricultural and Resource Economics Review*, 25(1), 1-11. <http://doi.org/10.1017/S1068280500000010>
- McNew, K., & Fackler, P. L. (1997). Testing market equilibrium: Is cointegration informative? *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 22(2), 191-207. Recuperado em 20 de setembro de 2024, de <https://www.jstor.org/stable/40986942>
- Mishra, A. K., Panda, P., Pradhan, S. K., Panda, A. K., & Smark, C. (2024). Uncertainties and dynamic connectedness among sectors: a case of the USA, India, France, Germany and Russia. *Australasian Accounting, Business and Finance Journal*, 18(3), 168-201. <http://dx.doi.org/10.14453/aabfj.v18i3.10>
- Owusu Junior, P., Agyei, S. K., Adam, A. M., & Bossman, A. (2022). Time-frequency connectedness between food commodities: New implications for portfolio diversification. *Environmental Challenges*, 9, e100623. <http://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100623>
- Polat, O., Başar, B. D., Torun, E., & Ekşi, İ. H. (2023). Dynamic interlinkages between geopolitical stress and agricultural commodity market: Novel findings in the wake of the Russian Ukrainian conflict. *Borsa Istanbul Review*, 23, S74-S83. <http://doi.org/10.1016/j.bir.2023.05.007>
- Polat, O., Ertuğrul, H. M., Sakarya, B., & Akgül, A. (2024). TVP-VAR based time and frequency domain food & energy commodities connectedness an analysis for financial/geopolitical turmoil episodes. *Applied Energy*, 357, e122487. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122487>
- Qin, Y., Chen, J., & Dong, X. (2021). Oil prices, policy uncertainty and travel and leisure stocks in China. *Energy Economics*, 96, e105112. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105112>
- Umar, Z., Jareño, F., & Escribano, A. (2021). Agricultural commodity markets and oil prices: an analysis of the dynamic return and volatility connectedness. *Resources Policy*, 73, e102147. <http://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102147>
- Urso, F. S. P. (2007) *A cadeia da carne bovina no Brasil: uma análise de poder de mercado e teoria da informação* (Tese de doutorado). Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getulio Vargas, São Paulo.

- Vo, D. H., & Tran, M. P. B. (2024). Volatility spillovers between energy and agriculture markets during the ongoing food & energy crisis: Does uncertainty from the Russo-Ukrainian conflict matter? *Technological Forecasting and Social Change*, 208, e123723. <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123723>
- Wu, Y., Ren, W., Wan, J., & Liu, X. (2023). Time-frequency volatility connectedness between fossil energy and agricultural commodities: Comparing the COVID-19 pandemic with the Russia-Ukraine conflict. *Finance Research Letters*, 55, e103866. <http://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103866>
- Yang, C., Niu, Z., & Gao, W. (2022). The time-varying effects of trade policy uncertainty and geopolitical risks shocks on the commodity market prices: Evidence from the TVP-VAR-SV approach. *Resources Policy*, 76, e102600. <http://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102600>
- Zeng, H., Lu, R., & Ahmed, A. D. (2023). Return connectedness and multiscale spillovers across clean energy indices and grain commodity markets around COVID-19 crisis. *Journal of Environmental Management*, 340, 117912. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117912>
- Zhao, J. (2023). Time-varying impact of geopolitical risk on natural resources prices: evidence from the hybrid TVP-VAR model with large system. *Resources Policy*, 82, 103467. <http://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103467>
- Zhu, H., Xia, X., Hau, L., Zeng, T., & Deng, X. (2024). Time-frequency higher-order moment Co-movement and connectedness between Chinese stock and commodity markets. *International Review of Economics & Finance*, 96, 103580. <http://doi.org/10.1016/j.iref.2024.103580>

Data de submissão: 31 de janeiro de 2025.

Data de aceite: 07 de maio de 2025.

JEL Classification: C4, D81, Q13

Editor Associado: Daniel Arruda Coronel

Apêndice

Figura A1. Tabela de Conectividade direcional par a par da rede.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura A2. Tabela de Conectividade direcional par a par da rede assimétrica.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura A3. Assimetria da Conectividade direcional par a par da rede.

Fonte: Elaboração própria (2024).