Integração espacial no mercado brasileiro de milho: evidências a partir do Indicador ESALQ/B3

Spatial integration in the Brazilian corn market: Evidence from the ESALQ/B3 Price Index

André Luis Ramos Sanches
Pesquisador Colaborador na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP) e no Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea-Esalq/USP). Piracicaba (SP), Brasil

Lucilio Rogerio Aparecido Alves
Professor da Esalq/USP. Pesquisador do Cepea-Esalq/USP. Piracicaba (SP), Brasil

Grupo de Trabalho 1. Mercados Agrícolas e Comércio Exterior

Resumo: Este estudo analisa o processo de transmissão de preços no mercado brasileiro de milho, com ênfase na relação entre o Indicador de Preços do Milho ESALQ/B3, referência para a liquidação dos contratos futuros negociados na B3, e os preços regionais. Utiliza-se um Modelo Vetorial Autorregressivo com Correção de Erros (VECM) para avaliar as interações entre o Indicador e mercados regionais representativos, no período de janeiro de 2009 a dezembro de 2025. Os resultados indicam a existência de cointegração entre as séries, evidenciando um mecanismo de equilíbrio de longo prazo consistente com a hipótese de integração espacial do mercado de milho no Brasil. Apesar de diferenças regionais, os desvios em relação ao Indicador não apresentam comportamento explosivo, sugerindo que choques locais são absorvidos ao longo do tempo. No curto prazo, observam-se diferenças na intensidade do processo de transmissão, com predominância da influência do Indicador sobre os mercados regionais. Os coeficientes do vetor de cointegração indicam heterogeneidade na intensidade de transmissão, com maior sensibilidade das regiões produtoras do Centro-Oeste aos desvios do Indicador. A análise de liderança informacional revela um processo descentralizado de descoberta de preços, com múltiplos polos regionais de geração de informação, ainda que nem sempre associados a maior intensidade de transmissão. As funções de resposta ao impulso indicam que choques nos mercados regionais são incorporados pelo Indicador, ao mesmo tempo em que este exerce influência relevante sobre os preços regionais. Em conjunto, os resultados evidenciam um sistema de preços integrado, no qual o Indicador ESALQ/B3 desempenha papel central ao refletir e absorver informações provenientes de diferentes localidades, bem como ao influenciar a formação de preços em um mercado de dimensões continentais, como o brasileiro.
Palavras-chave: preços do milho, integração de mercado, Brasil.

Abstract: This study analyzes the price transmission process in the Brazilian corn market, with a particular focus on the relationship between the ESALQ/B3 Corn Price Index, a benchmark used to settle futures contracts traded on B3, and regional prices. A Vector Error Correction Model (VECM) is employed to assess the interactions between the Index and representative regional markets over the period from January 2009 to December 2025. The results indicate cointegration among the series, providing evidence of a long-run equilibrium relationship consistent with the hypothesis of spatial market integration in Brazil. Despite regional heterogeneity, deviations from the Index do not exhibit explosive behavior, suggesting that local shocks are gradually absorbed over time. In the short run, differences in the intensity of price transmission are observed, with the Index exerting a predominant influence on regional markets. The estimated cointegration coefficients reveal heterogeneity in transmission intensity, with producing regions in the Central-West showing greater sensitivity to deviations from the Index. The informational leadership analysis suggests a decentralized price discovery process, characterized by multiple regional centers of information generation, although these are not always associated with stronger transmission effects. Impulse response functions indicate that shocks originating in regional markets are incorporated into the Index, while the Index exerts a significant influence on regional prices. Overall, the findings highlight an integrated pricing system in which the ESALQ/B3 Index plays a central role by both reflecting and absorbing information from different regions and influencing price formation in a continental-scale market such as Brazil.
Keywords: corn prices; market integration; Brazil.

1. Introdução

A formação de preços em mercados agrícolas espacialmente dispersos é tradicionalmente analisada com base na teoria da arbitragem espacial e na Lei do Preço Único, segundo as quais as diferenças de preços entre regiões tendem a ser limitadas pelos custos de transporte e de transação (FACKLER e GOODWIN, 2001; BARRETT e LI, 2002). A integração entre mercados implica a existência de relações de equilíbrio de longo prazo, ainda que os ajustes de curto prazo ocorram de forma incompleta, não linear e heterogênea, o que reflete fricções espaciais e institucionais (VON CRAMON-TAUBADEL E GOODWIN, 2021).

No mercado brasileiro de milho, essas características são particularmente relevantes. Apesar de apresentar integração nacional em crescimento e inserção no comércio internacional, a formação de preços ainda mantém forte dependência de condições regionais, especialmente no curto prazo (ALVES et al., 2018; ALVES et al., 2019). Essa heterogeneidade espacial se traduz em oscilações distintas entre os mercados regionais, com implicações diretas para a dinâmica de transmissão de preços e para a eficiência dos mecanismos de gestão de risco.

Nesse contexto, a Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo (Bovespa), atual B3 (Brasil, Bolsa, Balcão), lançou, em setembro de 2008, o contrato futuro de milho com liquidação financeira, substituindo o modelo anterior baseado em entrega física. Nesse modelo, a microrregião de Campinas/SP foi definida como região base para liquidação, utilizando-se do Indicador de Preços do Milho ESALQ/B3.

O contrato foi concebido como instrumento de gestão de risco (*hedge*) frente a oscilações indesejáveis de preços, sendo amplamente utilizado por diferentes agentes que atuam neste mercado (B3, 2022). Sua liquidação ocorre de forma financeira, com base na média aritmética dos preços observados nos três últimos dias de negociação, incluindo o dia de vencimento, conforme o Indicador ESALQ/B3.

Desde a adoção desse modelo de contrato futuro, a literatura tem enfatizado mudanças no processo de formação de preços no mercado brasileiro de milho, incluindo alterações na sazonalidade das cotações, efeitos da expansão da segunda safra, crescimento da produção de biocombustíveis e maior influência dos preços internacionais (ALVES et al, 2018; ALVES et al, 2019; CAPITANI e GAIO, 2025; CRUZ JUNIOR, et al, 2018; MATTOS e SILVEIRA, 2018; SANCHES et al., 2018; SOUZA et al, 2023). Ainda assim, persistem desafios associados à heterogeneidade espacial dos mercados regionais, em um país de dimensões continentais, caracterizado por elevada dispersão espacial da produção e do consumo de milho entre as regiões.

Em particular, oscilações regionais de intensidades distintas resultam em elevada volatilidade nas diferenças de preços entre regiões. Essa volatilidade dificulta a efetividade das estratégias de hedge, uma vez que os contratos futuros negociados na B3 têm como referência única uma região específica. Assim, diferenças entre o comportamento dos preços regionais e o do Indicador ESALQ/B3 podem comprometer a proteção contra riscos de preço por agentes em diferentes localidades.

Essa característica evidencia a importância de compreender o processo de transmissão de preços entre regiões, especialmente quanto à relação entre a região de referência do contrato futuro e os demais mercados regionais. Nesse sentido, questiona-se qual é a capacidade das variações de preços na região de Campinas/SP de impactar e ser impactada pelos preços nas demais regiões produtoras e consumidoras do país.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar as relações de transmissão de preços no mercado brasileiro de milho, com foco na região base de liquidação financeira dos contratos futuros negociados na B3. Para tanto, utiliza-se um Modelo Vetorial Autorregressivo com Correção de Erros (VECM), avaliando-se as interações entre o Indicador de Preços do Milho ESALQ/B3 e as séries de preços nas principais regiões de produção e consumo de milho no Brasil, no período de janeiro de 2009 a dezembro de 2025.

3. Revisão de literatura

A literatura recente sobre a economia do milho no Brasil destaca um mercado em profunda reestruturação, impulsionado pela mudança na composição da oferta e pela maior inserção no comércio global. Esta seção revisa estudos que avaliam como a ascensão da segunda safra, a integração com mercados internacionais e a produção do etanol de milho alteraram o processo de transmissão e formação de preços no país.

A reestruturação do mercado brasileiro é marcada pelo crescimento da segunda safra, que passou de uma parcela mínima da produção na década de 1980 para representar cerca de 70% do volume total nacional em anos recentes.

Alves et al, (2019) argumentam que essa expansão provocou um deslocamento fundamental no equilíbrio entre oferta e demanda: enquanto anteriormente a colheita se concentrava no primeiro semestre, a segunda safra garantiu maior disponibilidade do grão durante todo o ano, especialmente no segundo semestre. Pelo lado da demanda, a maior disponibilidade possibilitou exportações crescentes e consequentemente, maior integração com mercados internacionais.

Essa nova configuração alterou o padrão de sazonalidade das cotações. Souza, Silveira e Ballini (2023) analisaram o efeito da safra de inverno sobre os preços spot em diversas praças brasileiras e concluíram que a variação dos preços passou a depender menos do padrão sazonal tradicional. Os autores identificaram uma inversão no ciclo: no período 1996-2001, os menores preços ocorriam entre janeiro e abril (colheita da safra de verão), enquanto entre 2011 e 2019, os menores patamares deslocaram-se para o período de maio a agosto, coincidindo com a colheita da safra de inverno.

A transmissão de preços entre as regiões brasileiras também se tornou mais intensa e integrada. Alves, Sanches e Barros (2019) investigaram as relações de causalidade com foco em Campinas/SP, base de liquidação dos contratos da Bolsa B3. Ao comparar os períodos de janeiro de 2009 a dezembro de 2014 e de janeiro de 2015 a dezembro de 2019, os resultados demonstraram que Campinas atua como uma importante referência formadora de preços, interagindo de forma rápida e intensa com regiões produtoras e exportadoras. O estudo destaca que, em anos recentes, Campinas passou a absorver mais rapidamente as variações de preços de outras praças, indicando maior eficiência na transmissão entre os mercados regionais.

Complementarmente, Mattos e Silveira (2018) observaram que o mercado futuro brasileiro desenvolveu um papel mais dominante na relação entre os preços spot e futuros no mercado interno, especialmente após 2010, refletindo o aumento expressivo no volume de negociações e a necessidade crescente de ferramentas de gestão de risco pelos agentes do setor.

A maior participação do Brasil nas exportações mundiais de milho, passando de próximo de zero na década de 1990 para cerca de 20% do comércio global no início da década de 2020, estreitou os laços entre os preços domésticos e as cotações internacionais

Mattos e Silveira (2018) confirmaram o desenvolvimento de uma relação de longo prazo (cointegração) entre os preços brasileiros e as cotações dos contratos negociados na Bolsa de Chicago (EUA), a partir de 2002.

A dinâmica de transbordamento de volatilidade (*volatility spillovers*) também sofreu alterações. Avileis e Mallory (2022) demonstraram que as relações entre os mercados de milho dos EUA e do Brasil se intensificaram após a expansão da safra de segunda safra. Os resultados do estudo apontam que a direção da transmissão de volatilidade mudou: se antes de 2010 a volatilidade fluía majoritariamente dos EUA para o Brasil, após a consolidação da segunda safra, o Brasil passou a exercer uma influência de transbordamento de volatilidade sobre o mercado norte-americano, especialmente durante janelas climáticas críticas.

As relações de preços e a transmissão de volatilidade entre os mercados brasileiro e norte-americano também foram objeto de estudo de Cruz Junior, Capitani e Silveira (2018), que avaliaram as conexões entre os preços futuros (B3 e CME) e físicos de milho e soja no Centro-Oeste do Brasil e no Meio-Oeste dos Estados Unidos entre 1996 e 2014.

Os autores concluíram que o nível de integração dos mercados aumentou significativamente no período de 2007-2014, apresentando uma sensibilidade muito maior às variações de preços do que o observado no intervalo de 1996-2006. No caso do milho, o estudo identificou que a transmissão de volatilidade se intensificou após 2007.

Mais recentemente, o surgimento do milho como matéria-prima para a produção de biocombustíveis no Centro-Oeste adicionou um novo componente à formação de preços regional. Capitani e Gaio (2025) avaliaram o contágio entre os preços do milho e do etanol após o "boom" das usinas de etanol de milho. Os resultados indicaram que a integração entre esses mercados aumentou significativamente no Mato Grosso, onde a produção de etanol de milho cresceu intensamente entre 2015 e 2024. Em contrapartida, no estado de Goiás, que possui uma base consolidada de etanol de cana-de-açúcar, o impacto do milho sobre os preços do combustível foi menor, sugerindo que a transmissão regional depende da relevância do grão na matriz energética local.

3. Metodologia

As relações de transmissão entre o Indicador de preços de milho ESALQ/B3 e os preços regionais são avaliadas por meio do Modelo Vetorial Autorregressivo com Correção de Erros (VECM) bivariado. Para melhor compreensão e descrição do modelo VECM, podem ser consultados livros de autores como Enders, Hamilton e Johansen (ENDERS, 2010; HAMILTON, 1994; JOHANSEN, 1995).

Inicialmente, implementam-se os testes de raiz unitária ADF (Dickey e Fuller, 1979; Dickey e Fuller, 1981), PP (Phillips e Perron, 1988) e KPSS (Kwiatkowski et al., 1992), com o objetivo de avaliar se as séries apresentam comportamento consistente com um processo estocástico estacionário. A estimação robusta de um modelo VECM requer que todas as séries do vetor multivariado sejam estacionárias e cointegradas.

A condição de cointegração, bem como a definição do vetor de cointegração, é avaliada por meio do teste do traço proposto por Johansen (1988; 1991). Mais detalhes da implementação, bem como as diferentes especificações do componente determinístico do teste são apresentados na seção de resultados e discussão. A estrutura do modelo empírico segue a

do Modelo Vetorial Autorregressivo (Sim, 1980; Enders, 2010) quando identificada a relação de cointegração entre as séries.

O conceito de liderança informacional (*price discovery*) baseia-se na decomposição dos componentes comuns de sistemas cointegrados. Nesse contexto, a contribuição relativa de cada mercado para a descoberta de preços pode ser inferida a partir dos coeficientes de ajuste α, expressos no modelo VECM (GONZALO e GRANGER, 1995).

Intuitivamente, o mercado que apresenta menor resposta ao termo de correção de erro, isto é, menor magnitude do coeficiente de ajuste, tende a liderar o processo de formação de preços, incorporando mais rapidamente novas informações. Seguindo a abordagem de *component share* (CS), a participação de cada mercado na descoberta de preços é inversamente relacionada à magnitude do seu coeficiente de ajuste: mercados que menos reagem a desvios de equilíbrio são interpretados como líderes informacionais (GONZALO e GRANGER, 1995).

No caso bivariado, com $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2)'$ as participações relativas são calculadas como: $CS_1 = |\alpha_2| / (|\alpha_1| + |\alpha_2|)$ e $CS_2 = |\alpha_1| / (|\alpha_1| + |\alpha_2|)$, em que CS_1 e CS_2 representam as contribuições dos mercados 1 e 2, respectivamente, para a descoberta de preços. Essas medidas assumem valores no intervalo [0,1] e somam a unidade, sendo que valores mais elevados indicam maior relevância do respectivo mercado na incorporação de informações e na determinação do preço de equilíbrio de longo prazo (GONZALO e GRANGER, 1995; HASBROUCK, 1995).

3.1. Fonte dos dados, amostra e avaliação preliminar das séries

A seleção das regiões e, consequentemente, das séries de preços utilizadas, como neste estudo, busca abranger os principais polos de produção e consumo de milho no Brasil, cuja dispersão espacial é apresentada na Figura 1. O presente estudo avalia as relações entre as séries de preços de milho nas regiões de Passo Fundo/RS, Chapecó/SC, Oeste do Paraná, Norte do Paraná, porto de Paranaguá/PR, Dourados/MS, Rondonópolis/MT, Sorriso/MT, Triângulo Mineiro, Rio Verde/GO, Sorriso/MT, Barreiras/BA, Recife/PE e o Indicador de preços de milho ESALQ/ B3 (referência Campinas/SP), ambos coletados e divulgados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (CEPEA/ESALQ/USP, 2026a). A descrição da metodologia adotada para o cálculo do Indicador pode ser consultada nos manuais do CEPEA/ESALQ/USP e da Bolsa de Valores B3 (CEPEA/ESALQ/USP, 2026b; B3, 2026).

As séries de preços utilizadas no estudo referem-se aos preços do milho no mercado físico disponível (lote ou atacado, com comercialização do produto limpo e seco), com

frequência mensal, no período de janeiro de 2009 a dezembro de 2025. Os preços mensais foram corrigidos pelo IGP-DI, com referência ao mês de dezembro de 2025. As séries de preços foram transformadas em logaritmos neperianos, de modo que os resultados apresentados indicarão a taxa de crescimento percentual aproximada, o que é especialmente útil para rastrear a trajetória temporal dos preços.

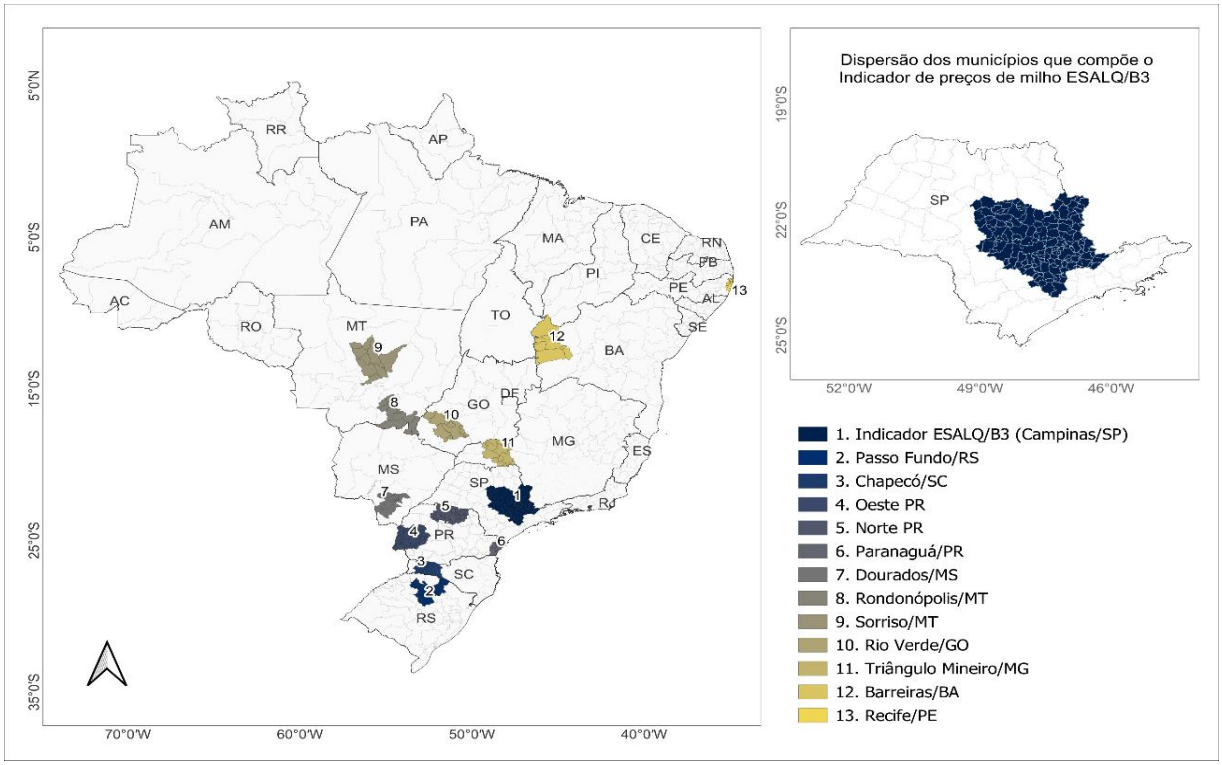

Figura 1 – Dispersão dos municípios que compõem as referências regionais de preços de milho avaliadas no estudo.
Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do CEPEA/ESALQ/USP.

A evolução temporal das séries de preços é apresentada na Figura 2, com suas respectivas diferenças (barras verticais) em relação ao Indicador ESALQ/B3. Destaca-se um elevado grau de movimento entre as séries de preços regionais e o Indicador ao longo de todo o período analisado.

Ao comparar a magnitude das diferenças entre os preços regionais e o Indicador, observa-se um padrão distinto entre as séries. Regiões mais próximas dos principais polos consumidores ou exportadores, como Chapecó/SC e Porto de Paranaguá/PR, tendem a apresentar desvios menores e mais estáveis em relação ao Indicador, enquanto as praças do Centro-Oeste, importante polo produtor, exibem amplitudes maiores e maior volatilidade nas diferenças.

Esse padrão de volatilidade nas diferenças entre o Indicador e os preços regionais é uma característica relevante do mercado brasileiro de milho, o que justifica o desenvolvimento do presente estudo, que busca compreender melhor as relações regionais de preços diante dessa volatilidade e, consequentemente, as dificuldades enfrentadas pelos agentes na realização de hedge em seus mercados regionais por meio dos contratos futuros disponíveis na bolsa B3.

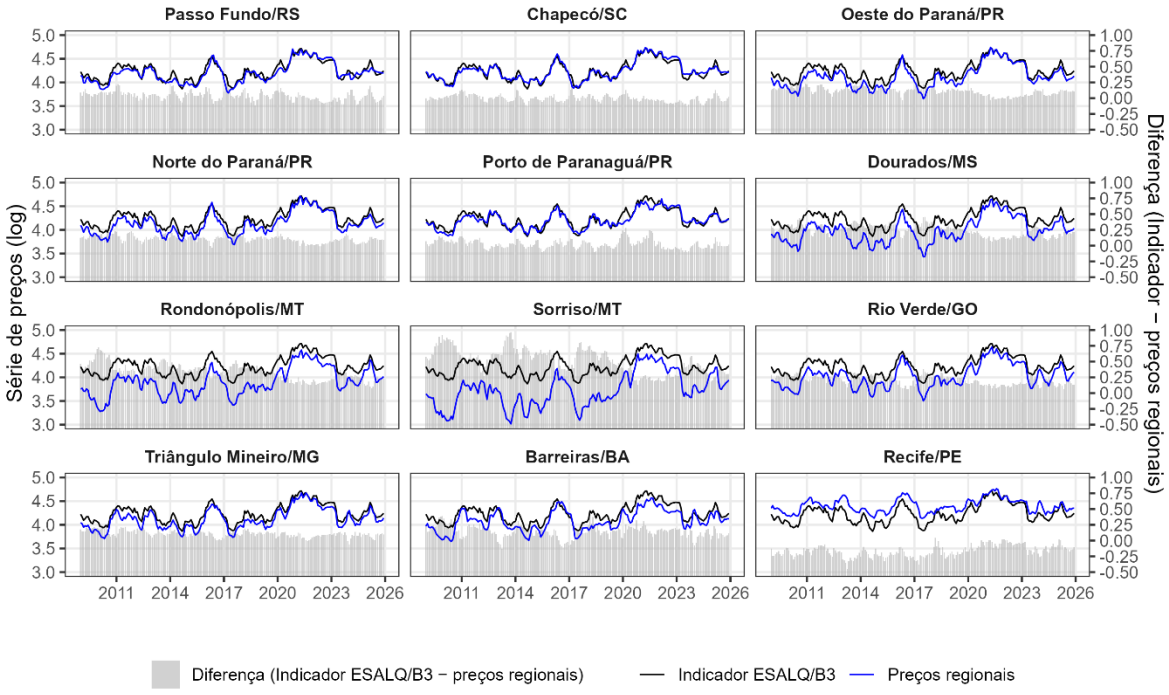

Figura 2 – Evolução do logaritmo das séries de preços regionais e das diferenças em relação ao Indicador ESALQ/B3. Período de jan./2009 a dez./2025.
Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do CEPEA/ESALQ/USP.

A Figura 3 evidencia, de forma clara, uma forte associação linear positiva entre os preços regionais e o Indicador ESALQ/B3, conforme indicam os elevados coeficientes de determinação (R^2), em sua maioria superiores a 0,85. Esse resultado sugere que uma parcela significativa da variação dos preços regionais pode ser associada aos movimentos do Indicador, reforçando a hipótese de integração espacial dos mercados.

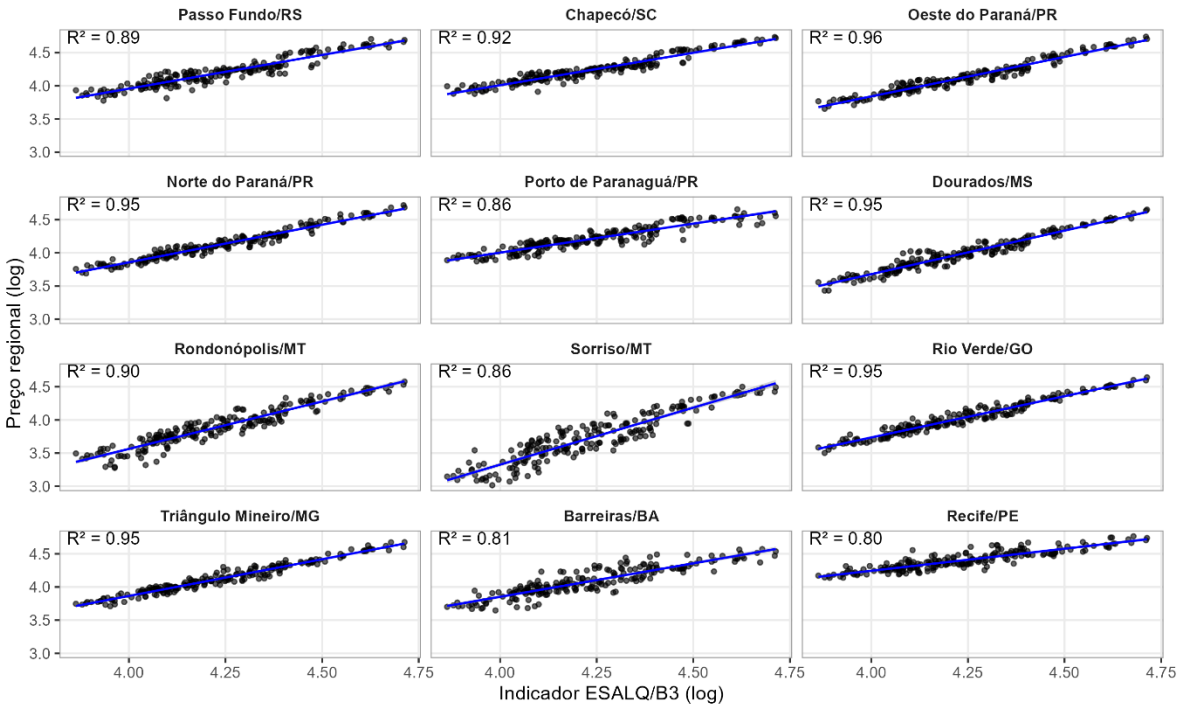

Figura 3 – Série de preços regionais em relação ao Indicador ESALQ/B3 e à linha de regressão simples estimada por mínimos quadrados ordinários. Período de jan./2009 a dez./2025.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do CEPEA/ESALQ/USP.

Regiões como Oeste do Paraná/PR, Norte do Paraná/PR, Dourados/MS e Rio Verde/GO apresentam ajustes particularmente aderentes à linha de regressão, com R^2 próximos ou superiores a 0,95, indicando alta correlação com o Indicador. Em termos econômicos, esses achados apontam para um processo de transmissão de preços, no qual choques no mercado do Indicador são incorporados aos mercados regionais, assim como choques nos mercados regionais são incorporados pelo Indicador.

Por outro lado, observam-se níveis distintos de intensidade dessa relação, especialmente em praças como Barreiras/BA, Recife/PE e Sorriso/MT, que apresentam valores de R^2 relativamente menores e maior dispersão dos pontos em torno da reta estimada. Ainda assim, a predominância de relações lineares fortes e estatisticamente consistentes fornece evidência preliminar robusta da existência de um vínculo de longo prazo entre as séries. Esse conjunto de evidências reforça a adequação do uso de modelos de cointegração e de VECM para capturar simultaneamente os ajustes de curto prazo e o equilíbrio de longo prazo entre os mercados regionais e o Indicador ESALQ/B3.

4. Resultados e discussão

Inicialmente, foi avaliado se as séries apresentam comportamento consistente com um processo estocástico estacionário. Os resultados dos testes de raiz unitária ADF (Dickey e Fuller, 1979; Dickey e Fuller, 1981), PP (Phillips e Perron, 1988) e KPSS (Kwiatkowski et al., 1992) indicam que as séries são integradas de primeira ordem. Por isso, os testes de cointegração e o modelo VECM foram estimados com dados da primeira diferença do logaritmo das séries de preços.

4.1 Análise de cointegração

Constatada a estacionariedade das séries, verificou-se a existência de relações de equilíbrio de longo prazo entre as séries e o Indicador, por meio do teste do traço proposto por Johansen (1988, 1991). A opção pela especificação do teste com a presença de uma constante no modelo de curto prazo permite capturar deslocamentos transitórios no processo de ajuste, sem impor uma tendência determinística ao vetor de cointegração, uma vez que as séries avaliadas já foram deflacionadas. Adicionalmente, a inclusão de um componente sazonal é justificada pelo comportamento inerente aos preços dos produtos agrícolas.

Os resultados do teste do traço corroboram a hipótese de que há uma relação de equilíbrio de longo prazo entre o Indicador e os preços regionais. A rejeição da hipótese $r \leq 1$ nos testes, com estatísticas de traço superiores aos valores críticos, reforça a adequação da especificação com posto de cointegração igual a 1 ($r = 1$) no contexto bivariado analisado.

Em termos econômicos, esses resultados sugerem que há evidência estatisticamente significativa de um mecanismo de equilíbrio de longo prazo entre o Indicador CEPEA/B3 e os preços regionais. Tal evidência é consistente com a hipótese de integração espacial do mercado de milho no Brasil.

4.2 Mecanismos de ajuste de curto prazo via modelo VECM

Evidenciada a existência de um vetor de cointegração no contexto bivariado. Inicia-se a análise do mecanismo pelo qual os desvios em relação a esse equilíbrio são corrigidos ao longo do tempo, por meio dos parâmetros do modelo Vetor Auto Regressivo com Correção de Erros (VECM).

Os resultados do modelo VECM indicam elevada persistência temporal dos choques regionais no Indicador. Na equação em que o Indicador é a variável dependente, o coeficiente da própria defasagem é positivo e significativo na maioria dos mercados, com magnitudes de

0,3069 em Passo Fundo/RS, 0,3693 em Chapecó/SC, 0,3790 em Dourados/MS e 0,4323 em Barreiras/BA. Esses valores sugerem que choques passados no próprio Indicador têm efeitos relevantes no curto prazo, reforçando a presença de inércia no processo de formação de preços. Por outro lado, os coeficientes associados às defasagens dos preços regionais são, em geral, não significativos, com exceção de Barreiras/BA e Recife/PE, o que indica que a influência direta das regiões sobre o Indicador, no curto prazo, é limitada e pouco sistemática.

Na equação das séries regionais, como variável dependente, observa-se novamente forte persistência associada ao Indicador, com coeficientes positivos e significativos, tais como 0,3930 em Passo Fundo/RS, 0,6017 em Rondonópolis/MT, 0,4709 em Sorriso/MT e 0,4863 em Barreiras/BA. Esses valores indicam que choques no Indicador são rapidamente transmitidos aos mercados regionais no curto prazo. No entanto, os coeficientes das defasagens dos próprios preços regionais permanecem, em sua maioria, não significativos, reforçando a baixa relevância dos mecanismos autorregressivos locais de ajuste.

Em conjunto, os resultados sugerem que o processo de ajuste ao equilíbrio de longo prazo é compartilhado entre o Indicador e os mercados regionais. Entretanto, há intensidades distintas entre as regiões.

4.3. Relações de equilíbrio de longo prazo

O principal objetivo deste estudo foi examinar a relação de longo prazo entre o Indicador ESALQ/B3 e os preços regionais de milho. Assim, o interesse concentra-se nas elasticidades de transmissão de longo prazo estimadas a partir dos coeficientes normalizados do vetor de cointegração. Após normalização em relação ao preço do Indicador ESALQ/B3, o coeficiente associado ao preço regional é interpretado como a elasticidade de transmissão de longo prazo entre os mercados.

Os coeficientes do vetor de cointegração normalizados, apresentados na Tabela 1, evidenciam uma relação de longo prazo consistente entre o Indicador e os preços regionais, com intensidades de transmissão de preços distintas entre as séries. Quando normalizados pelo Indicador, os coeficientes dos preços regionais variam de 0,443 (Sorriso/MT) a 1,014 (Porto de Paranaguá/PR). Isso indica que um aumento de 1% no preço regional está associado, no equilíbrio de longo prazo, a variações entre 0,44% e 1,01% no Indicador. Tal evidência sugere um elevado grau de integração, mais forte em mercados como o Porto de Paranaguá/PR.

No geral, os coeficientes do vetor de cointegração indicam que os mercados regionais reagem significativamente aos desvios do equilíbrio de longo prazo do Indicador, com maior

intensidade nos preços do Centro-Oeste. Por outro lado, o Indicador apresenta uma resposta de menor intensidade aos choques nos preços de mercado regionais e é amplamente diversificado. Esses resultados sugerem que o Indicador desempenha papel relevante na formação do preço de longo prazo, refletindo os desvios do equilíbrio de preços entre diferentes regiões do País.

Tabela 1 – Coeficientes normalizados dos termos de correção de erros.

Séries de preços regionais	Vetor normalizado na série Indicador			Vetor normalizado na série regional		
	Const.	Indicador	Região	Const.	Indicador	Região
Passo Fundo/RS	0,564	1,000	0,875	0,644	1,143	1,000
Chapecó/SC	0,339	1,000	0,920	0,369	1,087	1,000
Oeste do Paraná/PR	1,058	1,000	0,771	1,371	1,297	1,000
Norte do Paraná/PR	0,796	1,000	0,834	0,955	1,199	1,000
Porto de Paranaguá/PR	-0,031	1,000	1,014	-0,031	0,986	1,000
Dourados/MS	1,451	1,000	0,698	2,079	1,433	1,000
Rondonópolis/MT	2,050	1,000	0,560	3,661	1,786	1,000
Sorriso/MT	2,579	1,000	0,443	5,816	2,255	1,000
Rio Verde/GO	1,151	1,000	0,773	1,488	1,293	1,000
Triângulo Mineiro/MG	0,568	1,000	0,889	0,638	1,125	1,000
Barreiras/BA	1,378	1,000	0,706	1,952	1,416	1,000
Recife/PE	-0,989	1,000	1,186	-0,834	0,843	1,000

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos coeficientes do teste de cointegração.

4.4 Estrutura de transmissão de preços

A análise da relação de longo prazo, por meio do vetor de cointegração associado aos coeficientes estimados no modelo VECM, permite avançar na compreensão da direção da transmissão de preços e da liderança informacional dos mercados.

A liderança informacional, ou participação na descoberta de preços, é obtida a partir dos coeficientes de ajuste do VECM. Intuitivamente, mercados com maior participação na liderança informacional são aqueles que antecipam movimentos de preços, enquanto os mercados com maior elasticidade de transmissão exercem maior influência sobre as demais regiões (GONZALO e FIGUEROLA-FERRETTI, 2008).

A Figura 4 apresenta, no eixo horizontal, a elasticidade de transmissão de longo prazo, que mede a resposta percentual do Indicador ESALQ/B3 a variações nos preços regionais. No eixo vertical, tem-se a participação na liderança informacional, que captura a contribuição relativa de cada mercado na incorporação de novas informações ao processo de formação de preços.

A combinação dessas duas dimensões permite identificar não apenas quais mercados lideram esse processo, mas também a intensidade com que seus choques se propagam, oferecendo uma leitura integrada da dinâmica espacial do mercado de milho no Brasil.

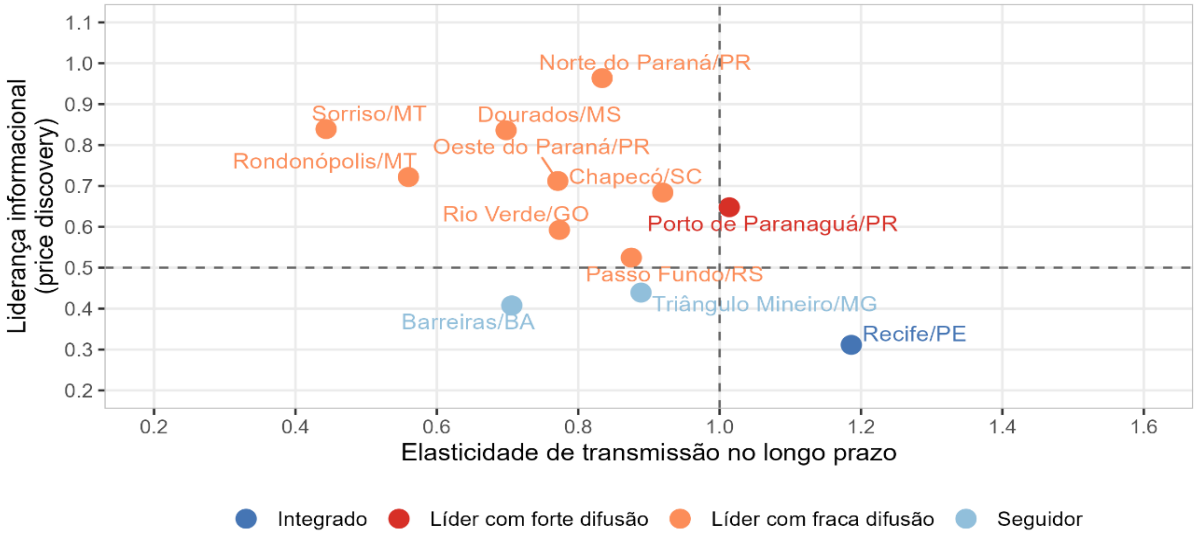

Figura 4 – Elasticidade de transmissão de longo prazo (reação do Indicador ESALQ/B3 a choques nos preços dos mercados regionais) versus participação na liderança informacional.
Fonte: Elaborado pelos autores com base nos coeficientes do teste de cointegração e do modelo VECM.

A maior parte dos mercados regionais apresenta elevada liderança informacional, com valores superiores a 0,5. Destacam-se as regiões Norte do Paraná/PR (0,964), Sorriso/MT (0,839) e Dourados/MS (0,836), o que sugere uma forte contribuição desses mercados para a formação dos preços. Os resultados demonstram que o processo de liderança informacional no mercado brasileiro de milho é predominantemente descentralizado, caracterizado por múltiplos polos de informação. Em particular, regiões como Norte do Paraná, Dourados/MS e Sorriso/MT, apresentam elevada participação na formação de preços, sugerindo que a informação relevante se origina nesses mercados.

No entanto, observa-se um descolamento entre a liderança informacional e a intensidade de transmissão. Mercados com elevada participação na liderança informacional frequentemente exibem elasticidades de transmissão inferiores a 1, o que indica que a informação gerada localmente não é integralmente incorporada ao Indicador ESALQ/B3.

Esses resultados indicam que a liderança informacional não implica, necessariamente, uma forte propagação de choques. Diante desses resultados, torna-se adequado avaliar a

dinâmica temporal desses ajustes, o que será feito na próxima etapa por meio das funções de resposta ao impulso (IRF).

4.5 Dinâmica temporal dos choques de preços via funções de resposta ao impulso

As funções de resposta ao impulso (FRIs) permitem avaliar como o processo de transmissão entre as séries de preços regionais e o Indicador se materializa ao longo do tempo, evidenciando a velocidade, a persistência e a magnitude dos efeitos de choques. Os resultados da função de resposta ao impulso dos mercados regionais, apresentados na Figura 6, indicam que choques nesses mercados geram respostas positivas e persistentes no Indicador ESALQ/B3, com magnitudes heterogêneas entre as regiões.

A dinâmica temporal revela que a maior parte do ajuste ocorre nos primeiros períodos, com respostas crescentes e sem reversões relevantes. Esse padrão é consistente com os coeficientes de curto prazo do VECM, nos quais o termo defasado do Indicador apresentou significância estatisticamente ampla, bem como com a evidência de liderança informacional observada anteriormente.

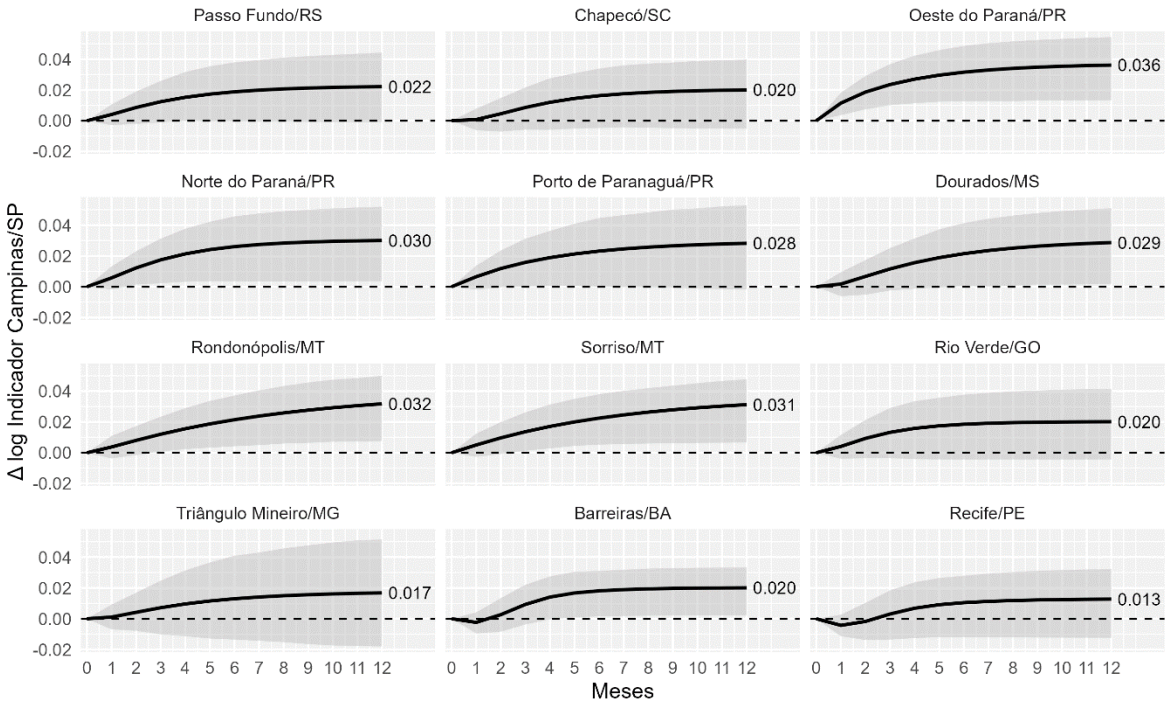

Figura 5 – Respostas do Indicador ESALQ/B3 ao impulso ortogonal e ao IC de 95% por bootstrap, ao impulso, nas séries de preços regionais.
Fonte: Elaborado pelos autores com base nos coeficientes de resposta ao impulso do VECM.

Regiões com maior liderança informacional, como Norte do Paraná (0,964) e Dourados/MS (0,836), também exibem respostas mais intensas no Indicador, reforçando seu papel ativo na transmissão de informação. No geral, os efeitos indicam transmissão de choques com baixo grau de dissipação no longo prazo. Esse resultado é coerente com a presença de cointegração e com a estrutura de liderança identificada. Na sequência, a análise é invertida, avaliando como os choques no Indicador ESALQ/B3 afetam os preços regionais. Os resultados da função de resposta ao impulso do Indicador ESALQ/B3, apresentados na Figura 6, mostram que choques no Indicador geram respostas positivas nas séries de preços de todas as regiões.

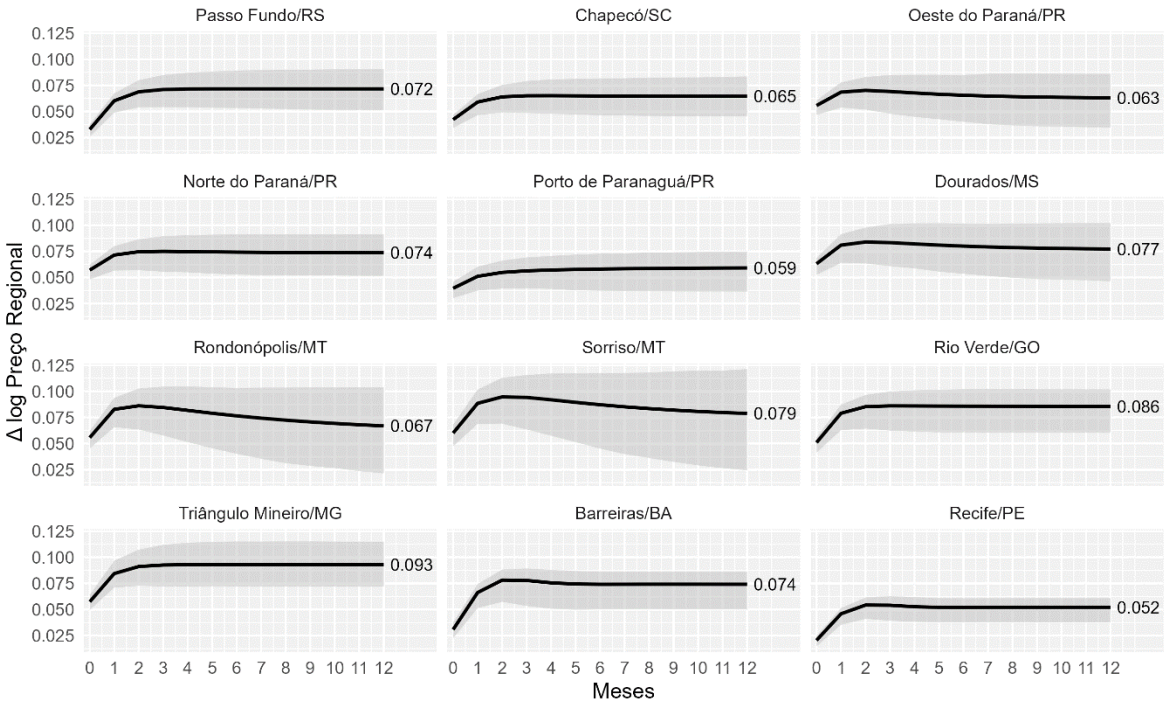

Figura 6 – Respostas das séries de preços regionais ao impulso ortogonal e ao IC de 95% por bootstrap ao impulso no Indicador ESALQ/B3.
Fonte: Elaborado pelos autores com base nos coeficientes de resposta ao impulso do VECM.

A dinâmica sugere um ajuste rápido, concentrado nos primeiros 6 períodos, seguido de uma estabilização. Esse comportamento é compatível com os coeficientes de ajuste do VECM, em que o termo de correção de erro é significativo na maioria das regiões, indicando uma resposta ativa ao desequilíbrio de longo prazo. No entanto, a magnitude relativamente menor do impacto dos mercados regionais sobre o Indicador (Figura 6), em comparação com o impacto do Indicador sobre os mercados regionais (Figura 7), sugere que o Indicador atua mais como agregador de informação do que como principal transmissor de choques.

Os resultados apresentados indicam que regiões previamente identificadas como mais relevantes em termos de liderança informacional, como Norte do Paraná/PR e Dourados/MS, geram impactos mais expressivos e duradouros sobre o Indicador, enquanto a resposta dos mercados regionais a choques no Indicador tende a ser mais homogênea e de menor magnitude. Dessa forma, a análise dinâmica reforça e valida a evidência estrutural anterior, demonstrando que a liderança informacional identificada não é apenas estática, mas também se traduz em maior capacidade de propagação de choques ao longo do tempo.

5. Considerações finais

Os resultados do estudo indicam que os preços regionais de milho e o Indicador ESALQ/B3 apresentam uma relação de equilíbrio de longo prazo, evidenciada pelos testes de cointegração. Tal evidência é consistente com a hipótese de integração espacial do mercado de milho no Brasil, ainda que persistam desvios no curto prazo.

A análise das relações de transmissão de preços mostra que o processo de ajuste ao equilíbrio é compartilhado entre o Indicador e os mercados regionais, com diferenças na intensidade desse ajuste. De modo geral, o Indicador exerce influência significativa sobre a dinâmica de curto prazo dos preços regionais, ao mesmo tempo em que incorpora informações desses mercados. Os coeficientes do vetor de cointegração normalizados indicam elasticidades heterogêneas entre regiões, refletindo diferentes graus de integração e transmissão de preços, mas mantendo uma relação consistente com o Indicador como referência comum ao longo do tempo.

A estrutura do sistema de transmissão revela um processo de liderança informacional (*price discovery*) descentralizado, com múltiplos polos de geração de informação. Regiões como o Norte do Paraná, Dourados/MS e Sorriso/MT apresentam maior contribuição informacional, enquanto outras desempenham papel predominantemente de seguidor. No entanto, essa liderança não se traduz uniformemente na intensidade de transmissão, evidenciando heterogeneidade entre a geração e a difusão de preços. Em particular, observa-se que o Indicador sintetiza informações de diferentes mercados e também atua como referência para a disseminação dessas informações.

Por fim, a análise das funções de resposta ao impulso mostra que choques nos mercados regionais geram respostas positivas e persistentes no Indicador, confirmando seu papel como agregador de informações. Em contrapartida, choques no Indicador produzem efeitos consistentes e relativamente mais homogêneos sobre os preços regionais, o que indica sua

relevância como referência para a formação de preços no curto prazo. Os resultados evidenciam um mercado integrado no longo prazo, no qual o Indicador ESALQ/B3 desempenha dupla função: absorve informações dos mercados regionais e, simultaneamente, influencia a dinâmica de preços em diferentes regiões do País.

Referências

ALVES, L. R. A. et al. Estrutura de mercado e formação de preços na cadeia produtiva de milho. In: ALVES, L. R. A.; BACHA, C. J. C. (Eds.). Panorama da agricultura brasileira: estrutura de mercado, comercialização, formação de preços, custos de produção e sistemas produtivos. 1. ed. Campinas: Alínea, 2018. p. 133–176.

ALVES, L. R. A.; SANCHES, A. L. R.; BARROS, G. S. C. A nova configuração no mercado de milho no Brasil e a dinâmica de formação de preços. Agroalimentaria , v. 25, p. 65-88, 2019.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/>. Acesso em: 28 de março de 2026.

AVILEIS, F., MALLORY, M. L. (2022). The impact of Brazil on global grain dynamics: A study on cross-market volatility spillovers. Agricultural Economics, 53, 231–245.

BAI, J.; PERRON, P. (1998). Estimating and Testing Linear Models with Multiple Structural Changes. Econometrica, v. 66, n. 1, p. 47–78.

BAI, J.; PERRON, P. (2003). Computation and analysis of multiple structural change models. Journal of Applied Econometrics, v. 18, n. 1, p. 1–22.

BARRETT, C. B.; LI, J. (2002). Distinguishing between equilibrium and integration in spatial price analysis. American Journal of Agricultural Economics, v. 84, n. 2, p. 292–307.

B3. Brasil, Bolsa, Balcão. Milho. Futuro de milho com liquidação financeira. Disponível em: <https://www.b3.com.br/pt_br/produtos-e-servicos/negociacao/commodities/ficha-do-produto-8AA8D0CD95C8AFE30196115C0 1AF267A.htm>. Acesso em: 30 de março de 2026.

CAPITANI, D. H. D.; GAIO, L. E. (2025). Volatility spillover in regional ethanol and grain markets: evidence from the expansion of corn-based ethanol production in Brazil. International Journal of Food and Agricultural Economics, v. 13, p. 177-193.

CEPEA/ESALQ/USP. (2026a). Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br>. Acesso em: 30 de março de 2026.

CEPEA/ESALQ/USP. 2026b). Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em: <https://www.cepea.org.br/br/metodologia/metodologia-de-precos-do-milho-esalq-bm-fbovespa.aspx>. Acesso em: 30 de março de 2026.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Informações agropecuárias. Safras. Série histórica das safras.

CRUZ JUNIOR, J. C., CAPITANI, D. H. D., SILVEIRA, R. L. F. (2018). The effect of Brazilian corn and soybean crop expansion on price and volatility transmission. Economics Bulletin, 38(4), 2284–2303.

DICKEY, D. A., FULLER, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. Journal of the American Statistical Association, 74(366), 427–431.

DICKEY, D. A., FULLER, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. Econometrica, 49(4), 1057–1072.

ENDERS, W. (2010). Applied econometric time series. John Wiley and Sons, Inc.

FACKLER, P. L.; GOODWIN, B. K. (2001). Spatial price analysis. In: GARDNER, Bruce L.; RAUSSER, Gordon C. (ed.). Handbook of Agricultural Economics. v. 1, p. 971–1024.

GONZALO, J.; FIGUEROLA-FERRETTI, I. (2006). Price discovery in commodity markets. Journal of Futures Markets, v. 26, n. 9, p. 857–886.

GONZALO, J.; GRANGER, C. W. J. (1995). Estimation of common long-memory components in cointegrated systems. Journal of Business & Economic Statistics, 13(1), p. 27–35.

HAMILTON, J. D. (1994). Time series analysis. Princeton University Press.

HASBROUCK, J. (1995). One security, many markets: Determining the contributions to price discovery. The Journal of Finance, 50(4), p. 1175–1199.

JOHANSEN, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. Journal of Economic Dynamics and Control, 12(2–3), p. 231–254.

JOHANSEN, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. Econometrica, 59(6), p. 1551–1580.

JOHANSEN, S. (1995). Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models. Oxford University Press.

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P. C. B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? Journal of Econometrics, 54(1–3), 159–178.

MATTOS, F. L., Silveira, R. L. F. (2018). The Expansion of the Brazilian Winter Corn Crop and Its Impact on Price Transmission. International Journal of Financial Studies, 6(2), 45.

PHILLIPS, P. C. B; PERRON, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. Biometrika, 75(2), 335–346.

SANCHES, A. L. R.; ALVES, L. R. A.; BARROS, G. S. DE C. (2018). Oferta e demanda mensal de milho no Brasil: Impactos da segunda safra. Revista de Política Agrícola, v. 27, n.4.

SIMS, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. Econometrica, 48(1), 1–48.

SOUZA, D. K. F., SILVEIRA, R. L. F., e Ballini, R. (2023). Efeito da expansão da safra de inverno de milho no Brasil sobre a sazonalidade dos preços spot. Revista de Economia e Sociologia Rural, 61(4).

VON CRAMON-TAUBADEL, S.; GOODWIN, B. K. (2021). Price transmission in agricultural markets. Annual Review of Resource Economics, v. 13, p. 65–84.