v7.n8.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

# TRANSFERÊNCIA DE INFORMAÇÃO ENTRE PREÇOS DE *COMMODITIES* AGRÍCOLAS BRASILEIRAS: UMA ANÁLISE POR ENTROPIA DE TRANSFERÊNCIA

## *INFORMATION TRANSFER AMONG BRAZILIAN AGRICULTURAL COMMODITY PRICES: A TRANSFER ENTROPY ANALYSIS*

## *TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN ENTRE PRECIOS DE COMMODITIES AGRÍCOLAS BRASILEÑAS: UN ANÁLISIS MEDIANTE ENTROPÍA DE TRANSFERENCIA*

Lucas Cardoso Pereira[1], Cleanderson Romualdo Fidelis[2], Sílvio Fernando Alves Xavier Júnior[2]
Jader da Silva Jale[2], Tatijana Stosic[2]

e788608
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i8.8608

PUBLICADO: 08/2026

**RESUMO**

Este estudo analisou a transferência direcional de informação entre preços de *commodities* agrícolas brasileiras. Foram utilizadas séries diárias do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/ESALQ/USP), abrangendo 11 *commodities* entre janeiro de 2010 e 3 de agosto de 2022, organizadas nos grupos grãos, proteínas e *soft commodities* conforme a classificação adotada na dissertação de origem. Após o cálculo dos retornos logarítmicos, estimou-se a Entropia de Transferência em ambas as direções para cada par de séries, bem como a transferência líquida, com uso do *software* R e do pacote TransEnt. O arroz apresentou os maiores valores totais de informação recebida (0,0393) e transferida (0,0425). O frango registrou a maior transferência líquida positiva (0,0042), enquanto o trigo apresentou o valor mais negativo (-0,0041), indicando predominância de recebimento no balanço da rede. Nos subgrupos, as somas dos valores absolutos da transferência líquida foram 0,0032 para grãos, 0,0058 para proteínas e 0,0054 para *soft commodities*. Sob o critério de menor transferência líquida total adotado no estudo, o grupo de grãos mostrou maior eficiência informacional relativa. Os achados descrevem dependências direcionais entre séries, sem estabelecer causalidade econômica.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Commodities* agrícolas. Séries temporais. Entropia de Transferência. Eficiência informacional.

***ABSTRACT***

*This study analyzed directional information transfer among Brazilian agricultural commodity prices. Daily series from the Center for Advanced Studies in Applied Economics (CEPEA/ESALQ/USP) were used, covering 11 commodities from January 2010 to August 3, 2022, organized into grain, protein, and soft commodity groups according to the classification adopted in the source dissertation. After computing logarithmic returns, Transfer Entropy was estimated in both directions for each pair of series, together with net information transfer, using R software and the TransEnt package. Rice showed the highest totals of incoming (0.0393) and outgoing (0.0425) information. Chicken had the largest positive net transfer (0.0042), whereas wheat had the most negative value (-0.0041), indicating a predominance of incoming information in the network balance.*

[1] UEPB, mestre.
[2] UEPB, doutor(a).



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

*Within groups, the sums of absolute net transfer values were 0.0032 for grains, 0.0058 for proteins, and 0.0054 for soft commodities. Under the study's criterion of lower total net transfer, the grain group displayed greater relative informational efficiency. The findings describe directional dependencies among time series and should not be interpreted as evidence of economic causality.*

***KEYWORDS:*** *Agricultural commodities. Time series. Transfer Entropy. Informational efficiency.*

***RESUMEN***
*Este estudio analizó la transferencia direccional de información entre los precios de commodities agrícolas brasileñas. Se utilizaron series diarias del Centro de Estudios Avanzados en Economía Aplicada (CEPEA/ESALQ/USP), correspondientes a 11 commodities entre enero de 2010 y el 3 de agosto de 2022, organizadas en los grupos granos, proteínas y soft commodities según la clasificación adoptada en la disertación de origen. Después de calcular los retornos logarítmicos, se estimó la Entropía de Transferencia en ambas direcciones para cada par de series, así como la transferencia neta, mediante el software R y el paquete TransEnt. El arroz presentó los mayores valores totales de información recibida (0,0393) y transferida (0,0425). El pollo registró la mayor transferencia neta positiva (0,0042), mientras que el trigo presentó el valor más negativo (-0,0041), lo que indica predominio de recepción en el balance de la red. En los subgrupos, las sumas de los valores absolutos de transferencia neta fueron 0,0032 para granos, 0,0058 para proteínas y 0,0054 para soft commodities. Según el criterio de menor transferencia neta total adoptado, los granos mostraron mayor eficiencia informacional relativa. Los resultados describen dependencias direccionales entre series, sin demostrar causalidad económica.*

***PALABRAS CLAVE:*** *Commodities agrícolas. Series temporales. Entropía de Transferencia. Eficiencia informacional.*

## INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque entre os maiores produtores e exportadores mundiais de *commodities* agrícolas, cuja relevância econômica decorre tanto da elevada participação nas exportações quanto da importância para o abastecimento interno. Nesse contexto, o setor de *commodities* agrícolas desempenha papel estratégico na economia nacional, contribuindo para a geração de divisas, a formação do Produto Interno Bruto (PIB), a criação de empregos e a segurança alimentar.

Nesse contexto, o crescimento populacional e, especialmente, a demanda da China e de outros países asiáticos por *commodities* contribuem para explicar a elevada procura por esses produtos e o fortalecimento de sua importância econômica em países com grande capacidade produtiva, como o Brasil (FAROOKI; KAPLINSKY, 2012). Nesse cenário, a produção e a comercialização de *commodities* agrícolas influenciam diretamente a geração de renda, o desempenho da balança comercial, a segurança alimentar e o funcionamento de diferentes cadeias produtivas.

Nas últimas décadas, os mercados de *commodities* agrícolas têm atraído a atenção de pesquisadores da economia (NAZLIOGLU; SOYTAS, 2012; BECKMANN; CZUDAJ, 2014) e de



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

áreas correlatas, como a econofísica (HE; CHEN, 2011; MITRA *et al.*, 2018). Parte desse interesse decorre das preocupações relacionadas à elevação dos preços das *commodities* alimentares, observada a partir de 2001, intensificada durante a crise de 2007/2008 e novamente registrada em 2010/2011 (HOCHMAN *et al.*, 2014). Entre os principais fatores associados a esse comportamento destacam-se a expansão da produção de biocombustíveis, a desvalorização do dólar em relação a moedas relevantes, o aumento dos custos de produção em razão dos preços da energia e a desaceleração do crescimento da produtividade, decorrente de investimentos insuficientes em tecnologia e infraestrutura. Além disso, restrições à exportação de grãos e tarifas incidentes sobre a importação de biocombustíveis também contribuíram para a elevação dos preços no período (HOCHMAN *et al.*, 2014).

As consequências do aumento dos preços para a segurança alimentar são especialmente graves nos países em desenvolvimento, nos quais milhões de pessoas podem ser conduzidas a situações de fome e pobreza (IVANIC; MARTIN; ZAMAN, 2012). Em muitos casos, esse cenário é acompanhado por instabilidade política e conflitos sociopolíticos, constituindo preocupação relevante para governos e organizações internacionais (ROSEGRANT; CLINE, 2003). Desse modo, a produção de evidências empíricas sobre o comportamento das *commodities* agrícolas, em escalas global e local, contribui para a construção de bases científicas mais consistentes, úteis ao desenvolvimento e à avaliação de modelos de previsão e à formulação de estratégias de gestão dos mercados agrícolas.

A análise dos preços de produtos agrícolas pode ser realizada por meio de séries temporais e de diferentes métodos estatísticos e computacionais. Nesse âmbito, Schreiber (2000) propôs a Entropia de Transferência, do inglês *Transfer Entropy* (TE), como uma medida assimétrica capaz de quantificar a transferência de informação entre duas séries temporais. Quando uma série temporal X transfere mais informação para uma série Y do que Y transfere para X, considera-se que a direção predominante do fluxo de informação ocorre de X para Y. Essa característica permite examinar relações direcionais que não são identificadas por medidas simétricas de dependência.

A Entropia de Transferência tem sido empregada em diferentes áreas do conhecimento, incluindo robótica (NAKAJIMA; SCHMIDT; PFEIFER, 2015), física (VAN MILLIGEN *et al.*, 2014), finanças (KIM; KIM; YOOK, 2015; KWON; YANG, 2008; DIMPFL; PETER, 2013; FERREIRA *et al.*, 2022; ASSAF; BILGIN; DEMIR, 2022), fisiologia (ZHENG *et al.*, 2017; URSINO; RICCI; MAGOSSO, 2020; GELPI *et al.*, 2023; FERNÁNDEZ-MUÑOZ *et al.*, 2023), hidrologia (BENNETT *et al.*, 2019; NERI; COULIBALY; TOTH, 2022), climatologia (KRUG *et al.*, 2021; SILINI *et al.*, 2023), engenharia (WU *et al.*, 2018), comportamento animal (PORFIRI, 2018), comportamento



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

humano (XIE; GAO; LEE, 2022) e geofísica (STUMPO *et al.*, 2023; CAMPUZANO *et al.*, 2018). Essa variedade de aplicações demonstra a utilidade do método para investigar fluxos direcionais de informação em sistemas complexos.

Apesar da relevância econômica das *commodities* agrícolas brasileiras, ainda é necessário ampliar a compreensão acerca das relações direcionais existentes entre seus preços. Assim, o problema que orienta este artigo consiste em identificar como se estabelece a transferência de informação entre as séries de preços das *commodities* agrícolas brasileiras e verificar se a dinâmica desses fluxos difere entre os grupos de grãos, proteínas animais e *soft commodities*.

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de compreender as interações entre os mercados agrícolas e de identificar quais produtos atuam predominantemente como transmissores ou receptores de informação. Esse conhecimento pode contribuir para o aprimoramento de modelos de previsão, para a avaliação da eficiência informacional relativa dos mercados e para subsidiar a tomada de decisões por produtores, agentes do agronegócio, formuladores de políticas públicas e pesquisadores. Além disso, a aplicação da Entropia de Transferência possibilita examinar dependências direcionais sem pressupor relações lineares entre as séries analisadas.

Diante disso, o objetivo geral deste artigo é analisar a transferência de informação entre os preços de *commodities* agrícolas brasileiras. Especificamente, busca-se aplicar o método de Entropia de Transferência às séries de preços das *commodities* agrícolas e analisar e comparar os fluxos de informação entre os diferentes grupos de produtos considerados no estudo.

## 1. REFERENCIAL TEÓRICO

### *Commodities*

As *commodities* são produtos básicos negociados em mercados físicos e financeiros, geralmente não diferenciados em termos de qualidade. A negociação de *commodities* desempenha papel fundamental na economia global, constituindo importante fonte de receita para países exportadores e atuando como mecanismo de cobertura para empresas que dependem desses produtos. Além disso, os preços das *commodities* são influenciados por fatores como oferta e demanda, condições climáticas, políticas governamentais e condições econômicas globais.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

***Commodities* Agrícolas**

A produção e a exportação de *commodities* agrícolas desempenham papel estratégico na economia brasileira, impulsionando o agronegócio e contribuindo para a balança comercial, a geração de renda e de empregos. Segundo Bittencourt (2022), as *commodities* agrícolas brasileiras podem ser classificadas em três grupos: Grãos, Proteínas e *Soft*.

**Grãos**

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de grãos, destacando-se especialmente na produção de soja, milho e trigo. A produção desses grãos é essencial para a segurança alimentar e para a economia do país, sendo amplamente utilizada tanto para consumo interno quanto para exportação (BITTENCOURT, 2022). A soja destaca-se como a principal commodity agrícola brasileira em valor exportado, enquanto o milho possui elevada importância para os mercados de alimentação humana, nutrição animal e biocombustíveis. O trigo, embora apresente menor participação na produção nacional e o Brasil ainda não seja autossuficiente em seu abastecimento, desempenha papel relevante na cadeia agroalimentar do país.

**Proteínas**

A produção de proteínas animais constitui outro segmento estratégico da economia agrícola brasileira. O país está entre os maiores produtores e exportadores mundiais de carne bovina, suína e de frango. A carne bovina possui ampla inserção no mercado internacional, sendo exportada para diversos países, enquanto as carnes suína e de frango também ocupam posição de destaque na pauta exportadora do agronegócio brasileiro. Além disso, a cadeia produtiva das proteínas animais caracteriza-se pelo elevado nível de tecnificação, com investimentos em genética animal, nutrição e manejo sanitário voltados à melhoria da produtividade, da qualidade e da segurança dos produtos (BITTENCOURT, 2022).

***Soft***

As *soft commodities* referem-se a produtos agrícolas produzidos em larga escala e comercializados em estado bruto ou minimamente processados. No Brasil, esse grupo inclui café, açúcar, algodão e arroz (BITTENCOURT, 2022). O país destaca-se entre os maiores produtores mundiais de café e de açúcar de cana, ocupando posição relevante também na produção e exportação de algodão em pluma. Esses produtos possuem elevada importância



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

econômica, contribuindo significativamente para o agronegócio brasileiro e para a geração de divisas por meio das exportações (BITTENCOURT, 2022).

**Séries temporais**

Uma série temporal consiste em um conjunto de observações registradas sequencialmente ao longo do tempo (ADHIKARI; AGRAWAL, 2013). Essas séries são amplamente utilizadas em áreas como economia, finanças, climatologia, saúde e engenharia para a análise de padrões, previsão de eventos e apoio à tomada de decisões. Em razão de características como tendência, sazonalidade, ciclos e componentes aleatórios, sua modelagem requer o emprego de diferentes técnicas estatísticas e computacionais, entre as quais se destacam os modelos ARIMA, a suavização exponencial e as redes neurais (BOX *et al.*, 2015). No caso das *commodities* agrícolas, a análise de séries temporais apresenta desafios adicionais em decorrência da elevada volatilidade e da sazonalidade características desses mercados (SHUMWAY; STOFFER, 2000).

**Medidas de entropia**

A entropia é um conceito amplamente investigado em diferentes áreas do conhecimento. Na Física, refere-se à avaliação da desordem presente em um sistema. Na estatística, representa uma medida da incerteza associada a uma variável aleatória. Na teoria da informação, Shannon introduziu o conceito de entropia como uma medida da quantidade de informação e da incerteza associada à transmissão de sinais (COVER, 1999).

**Entropia de Shannon**

O comportamento de um sistema X pode ser caracterizado observando-se o conjunto de estados que ele visita ao evoluir no tempo. Segundo Sensoy *et al.* (2014), a expectativa de encontrar o sistema no estado X pode ser expressa em termos da probabilidade p(x), sendo a informação associada ao estado dada por s(x) = - log p(x). Em média, essa quantidade sobre todos os estados possíveis fornece uma medida de incerteza do sistema: $H(X) = -\sum_{x \in X} p(x)\, log(x)$. H(X) é chamada de entropia, e a maior quantidade de incerteza é observada quando todos os valores de X são igualmente prováveis (SHANNON, 1948).

**Entropia conjunta**

Se os estados do sistema podem ser descritos por dois subsistemas X e Y, pode-se utilizar a entropia conjunta para descrever o estado do sistema. Se dois sistemas interagem entre



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

si e o resultado de um deles é conhecido, isso pode diminuir a imprevisibilidade do outro (SHANNON, 1948). A entropia condicional pode ser expressa por:

$$H(X|Y) = -\sum_{y\in Y} p(y) \sum_{x\in X} p(x|y)\, log[p(x|y)] = -\sum_{x,y} log\left[\frac{p(x,y)}{p(y)}\right]$$

em que H(X|Y) é a incerteza de X quando Y é conhecido, ou seja, H(X|Y) = H(X,Y) - H(Y).

**Informação mútua**

Outro conceito necessário é a *mutual information* (MI) (FANO, 1961). A MI de dois sistemas X e Y é uma quantidade que mede a dependência mútua entre eles e é definida como:

$$MI(X;Y) = -\sum_{x,y} log\left(\frac{p(x,y)}{p(x)p(y)}\right)$$

Se algo é conhecido sobre o subsistema X, a MI descreve quanta informação adicional se possui sobre Y, e vice-versa. Embora seja uma medida importante para identificar relações entre subsistemas, sua propriedade de simetria impede que forneça informações sobre a causalidade ou direção de suas interações.

**Entropia de transferência**

Recentemente, Schreiber (2000) introduziu a quantidade teórica assimétrica denominada Entropia de Transferência para superar esse problema.

Suponha que $X_i$ e $Y_i$ sejam variáveis aleatórias discretas. Defina as variáveis aleatórias de comprimento k e l como $X_i^{(k)} = \{X_i, X_{i-1}, ..., X_{i-k+1}\}$ e $Y_i^{(l)} = \{Y_i, Y_{i-1}, ..., Y_{i-l+1}\}$. Então, as probabilidades de transição podem ser definidas como:

$$p\left(x_{(i+1)}|x_i^{(k)}, y_i^{(l)}\right) = prob\left(X_{(i+1)} = x_{(i+1)}|X_i^{(k)} = x_i^{(k)}, Y_i^{(l)} = y_i^{(l)}\right)$$

em que $x_i^{(k)}$ e $y_i^{(l)}$ são os estados de $X_i^{(k)}$ e $Y_i^{(l)}$, respectivamente. A equação acima denota a probabilidade de encontrar $X_{i+1}$ no estado $x_{i+1}$ quando $X_i^{(k)}$ e $Y_i^{(l)}$ estão em determinados estados. Se o estado futuro de X depende dos estados passados de X e Y, essa dependência pode ser quantificada por TE, obtida comparando-se duas entropias condicionais:

$$TE_{Y\to X}(k,l) = H\left(X_{i+1} \mid X_i^{(k)}\right) - H\left(X_{i+1} \mid X_i^{(k)}, Y_i^{(l)}\right)$$

$$= \sum p\left(x_{i+1}, x_i^{(k)}, y_i^{(l)}\right) log \frac{p\left(x_{i+1}|x_i^{(k)}, y_i^{(l)}\right)}{p\left(x_{i+1}|x_i^{(k)}\right)}.$$



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Assim, a entropia de transferência TE(Y → X) corresponde à informação sobre o futuro de X coletada tanto a partir de X quanto de Y, menos a informação obtida apenas a partir do passado de X. Os valores de k e l podem ser escolhidos com base na informação mútua entre a série temporal X e sua própria série defasada, conforme a sugestão de Fraser e Swinney (1986): à medida que o atraso k aumenta, o primeiro mínimo local de MI pode ser utilizado. Em geral, adota-se l = k.

### Net Transfer Entropy

Para duas séries X e Y, a *Net Transfer Entropy* é definida como:

$$TE_{(Y\to X)}^{(net)} = TE_{(Y\to X)} - TE_{(X\to Y)}$$

Cabe ressaltar que, se $TE^{net}(Y \to X) > 0$, o fluxo líquido de informação é dito de Y para X; caso contrário, considera-se que o fluxo líquido ocorre de X para Y (HE; SHANG, 2017).

## 2. METODOLOGIA

### Área de estudo/fonte de dados

Os dados utilizados nas análises correspondem às séries históricas de preços das *commodities* agrícolas consideradas neste estudo, referentes ao período especificado na Tabela 1. Todas as informações foram obtidas no Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (CEPEA/ESALQ/USP). A Tabela 1 também apresenta as respectivas unidades de comercialização das *commodities* analisadas.

**Tabela 1**. *Commodities* agrícolas analisadas e respectivas unidades de cotação e período das séries

| Nome | Moeda/Unidade de medida | Data Inicial | Data Final |
|---|---|---|---|
| Açúcar | R$/Saca de 50 kg | 04/01/2010 | 03/08/2022 |
| Algodão | R$/Libra-peso de pluma (0,453597 kg) | 01/01/2010 | 03/08/2022 |
| Arroz | R$/Saca de 50 kg | 04/01/2010 | 03/08/2022 |
| Bezerro | R$/Cabeça (animal vivo) | 04/01/2010 | 03/08/2022 |
| Boi gordo | R$/Arroba | 04/01/2010 | 03/08/2022 |
| Café | R$/Saca de 60 kg | 04/01/2010 | 03/08/2022 |



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Frango | R$/kg | 01/01/2010 | 03/08/2022 |
| Milho | R$/Saca de 60 kg | 04/01/2010 | 03/08/2022 |
| Soja | R$/Saca de 60 kg | 04/01/2010 | 03/08/2022 |
| Suíno | R$/kg | 01/01/2010 | 03/08/2022 |
| Trigo | R$/Tonelada | 04/01/2010 | 03/08/2022 |

Fonte: CEPEA/ESALQ/USP.

Os dados fornecidos pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) para os preços das *commodities* apresentam as seguintes especificações:

Açúcar: preço por saca de 50 kg, com ICMS (7%) até 12/03/2013. Até essa data, também eram considerados PIS/COFINS (9,25%), que deixaram de incidir sobre o açúcar cristal após a Medida Provisória nº 609, de 08/03/2013.

Algodão: preços do algodão em pluma, tipo 41-4, posto na mesorregião da cidade de São Paulo. Os valores foram convertidos para pagamento em oito dias com base na taxa de desconto NPR.

Arroz: preço por saca de 50 kg, tipo 1, 58/10, posto indústria no Rio Grande do Sul, à vista, com prazo de pagamento descontado pela taxa CDI/CETIP.

Bezerro: valor por unidade, com prazo de pagamento descontado pela taxa CDI.

Boi gordo: preço por arroba, com prazo de pagamento descontado pela taxa CDI/CETIP. Os valores divulgados são livres de Funrural.

Café: preço por saca líquida de 60 kg, bica corrida, tipo 6, bebida dura para melhor, com prazo de pagamento descontado pela taxa NPR, posto na cidade de São Paulo.

Frango: preço da carne negociada no atacado, correspondente à média, em reais por quilograma, das regiões da Grande São Paulo, São José do Rio Preto e Descalvado.

Soja: preço em reais por saca de 60 kg. Entre os dias 10 e 17 de novembro, foram consideradas todas as ofertas para o cálculo do indicador.

Milho: preço à vista por saca de 60 kg, com prazo de pagamento descontado pela taxa CDI/CETIP.

Suíno: preço recebido pelo produtor, em R$/kg, sem incidência de ICMS.

Trigo: preço por tonelada no mercado disponível, à vista, com prazo de pagamento descontado pela taxa NPR.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Inicialmente, foram analisadas as séries históricas dos preços das *commodities* $P_t$, calculando-se as séries de retorno $R_t = \ln P_t - \ln P_{t-1}$, para em seguida aplicar a metodologia de Entropia de Transferência.

Para cada par de *commodities* X e Y, a TE foi calculada em ambas as direções, gerando a *Net Transfer Entropy*.

$$TE^{(net)}_{(Y \to X)} = TE_{(Y \to X)} - TE_{(X \to Y)}$$

A metodologia descrita foi aplicada ao conjunto completo das *commodities* agrícolas e, posteriormente, aos seguintes subconjuntos: grãos (milho, soja e trigo), proteínas (bezerro, boi gordo, frango e suíno) e *soft commodities* (açúcar, algodão, arroz e café).

A análise dos dados foi realizada no *soft*ware R (R CORE TEAM, 2020). Para o cálculo da Entropia de Transferência, utilizou-se o pacote TransferEntropy, que permite medir a quantidade de informação direcional transferida entre duas séries temporais (HEALTHCAST, 2026).

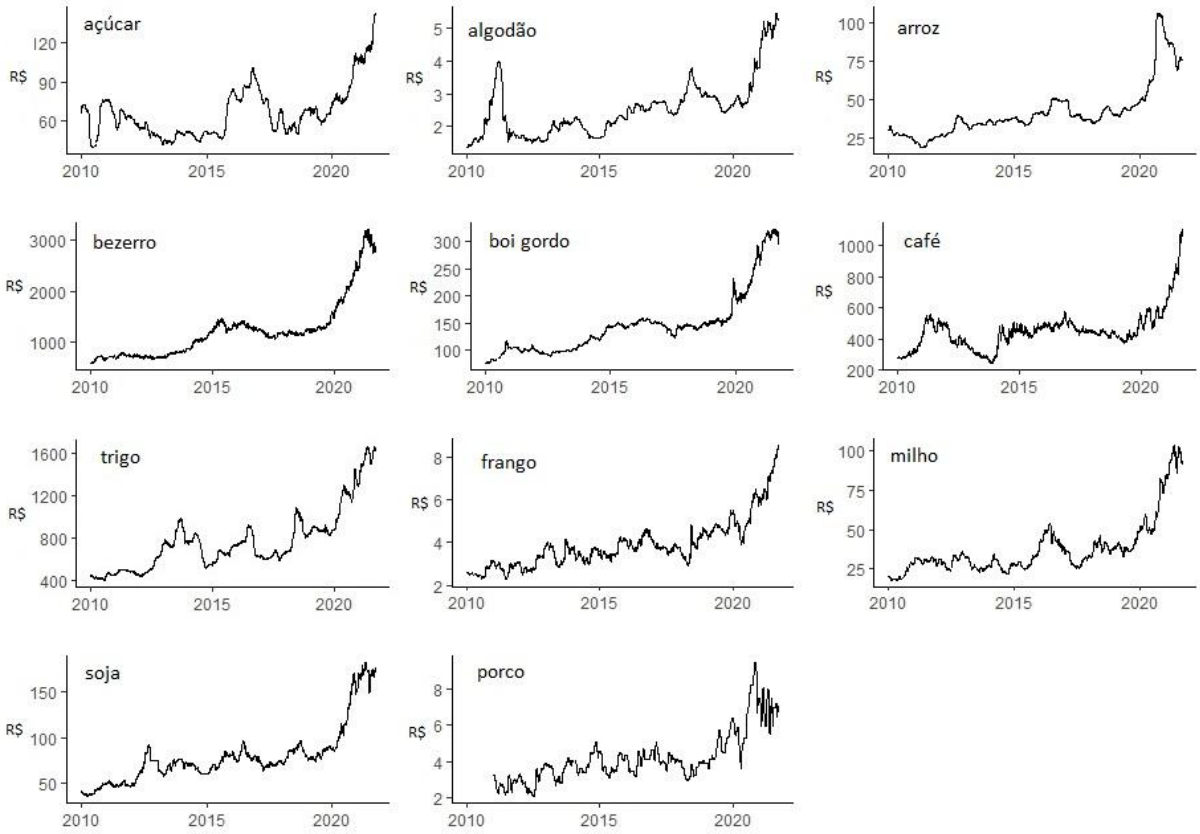
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os resultados da Entropia de Transferência (TE) e da Entropia de Transferência Líquida ($TE^{net}$) aplicadas às *commodities* agrícolas no período de 2010 a 2022. As séries analisadas são apresentadas na Figura 1, na qual se observa que os preços de todas as *commodities* apresentaram um pico após o ano de 2020, possivelmente associado aos efeitos da pandemia de COVID-19 sobre os mercados agrícolas.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

**Figura 1**. Séries temporais do preço diário das *commodities* agrícolas



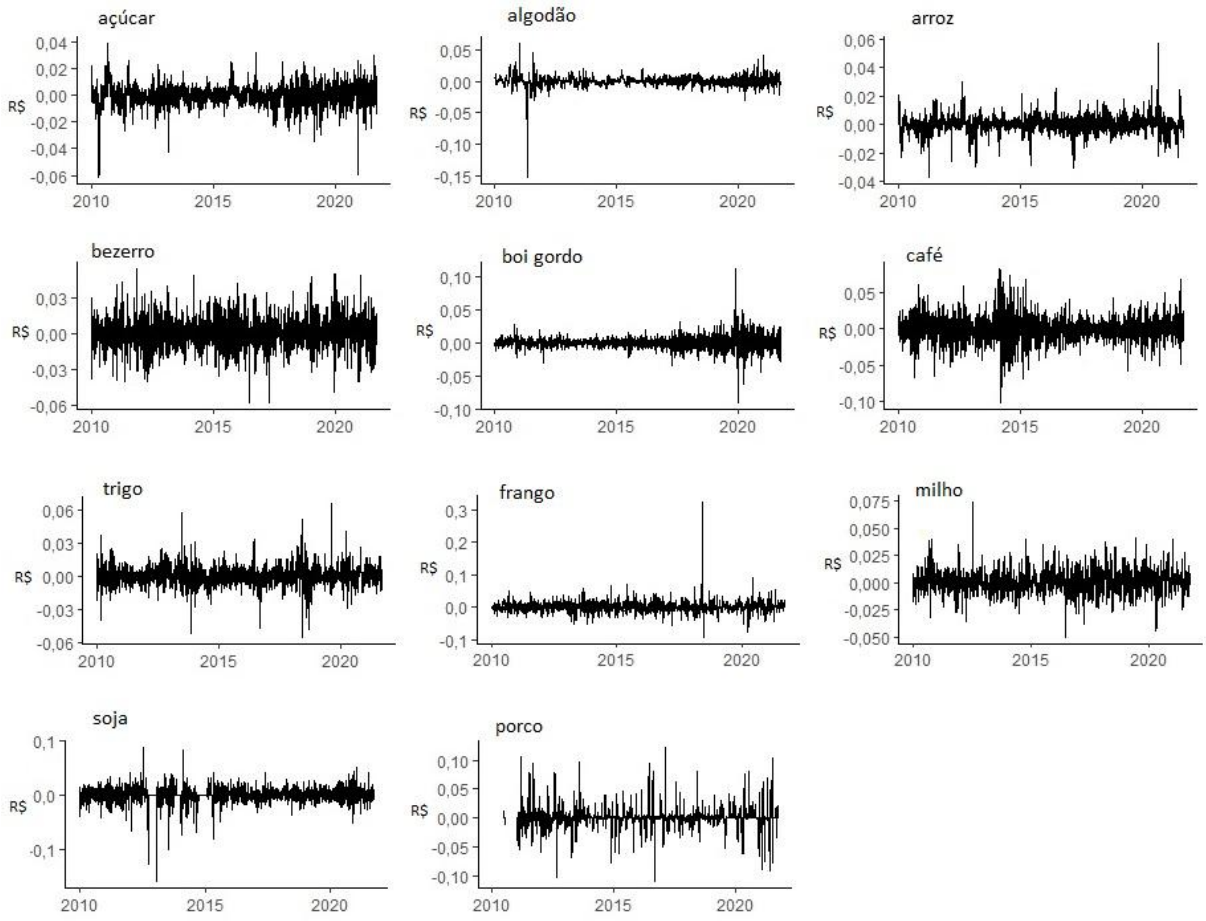

Fonte: elaboração própria.

Na Figura 2 são apresentadas as séries de retornos dos preços das *commodities* analisadas.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

**Figura 2.** Séries temporais de retornos diários dos preços das *commodities* agrícolas




Fonte: elaboração própria.

Os valores de TE, na direção das *commodities* listadas na primeira coluna para as *commodities* listadas na primeira linha, para as séries de retornos, estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2**. Entropia de transferência $T_{ij} = T(j \rightarrow i)$ entre séries temporais de retornos diários de preços de *commodities* agrícolas

| i/j | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ~ | 0,0042 | 0,0038 | 0,0024 | 0,0032 | 0,0042 | 0,0025 | 0,0027 | 0,0023 | 0,0038 | 0,0019 |
| 2 | 0,0045 | ~ | 0,0054 | 0,0018 | 0,0032 | 0,0013 | 0,0030 | 0,0037 | 0,0023 | 0,0037 | 0,0036 |



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 0,0032 | 0,0044 | ~ | 0,0031 | 0,0045 | 0,0017 | 0,0036 | 0,0053 | 0,0036 | 0,0050 | 0,0049 |
| 4 | 0,0021 | 0,0028 | 0,0028 | ~ | 0,0032 | 0,0030 | 0,0042 | 0,0023 | 0,0020 | 0,0022 | 0,0017 |
| 5 | 0,0046 | 0,0026 | 0,0035 | 0,0020 | ~ | 0,0041 | 0,0035 | 0,0025 | 0,0025 | 0,0040 | 0,0028 |
| 6 | 0,0029 | 0,0022 | 0,0028 | 0,0031 | 0,0027 | ~ | 0,0033 | 0,0033 | 0,0029 | 0,0047 | 0,0030 |
| 7 | 0,0024 | 0,0028 | 0,0038 | 0,0034 | 0,0027 | 0,0019 | ~ | 0,0034 | 0,0011 | 0,0065 | 0,0051 |
| 8 | 0,0033 | 0,0025 | 0,0031 | 0,0042 | 0,0025 | 0,0039 | 0,0023 | ~ | 0,0042 | 0,0040 | 0,0027 |
| 9 | 0,0028 | 0,0028 | 0,0061 | 0,0013 | 0,0031 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0046 | ~ | 0,0019 | 0,0029 |
| 10 | 0,0014 | 0,0049 | 0,0068 | 0,0041 | 0,0039 | 0,0024 | 0,0075 | 0,0011 | 0,0021 | ~ | 0,0044 |
| 11 | 0,0046 | 0,0031 | 0,0044 | 0,0029 | 0,0044 | 0,0041 | 0,0036 | 0,0023 | 0,0049 | 0,0028 | ~ |

1-Açúcar; 2-Algodão; 3-Arroz; 4-Bezerro; 5-Boi gordo; 6-Café; 7-Frango; 8-Milho; 9-Soja; 10-Suíno; 11-Trigo

A soma dos valores de TE de cada coluna representa a TE total transferida de cada *commodity* 1, 2, ..., 11 para todas as outras *commodities* ($T^{out}$), enquanto a soma dos valores de cada linha representa a TE total transferida de todas as demais *commodities* para cada *commodity* 1, 2, ..., 11 ($T^{in}$).

Os valores de $T^{in}$, $T^{out}$ e $T^{net} = T^{out} - T^{in}$ para todas as *commodities*, obtidos a partir da Tabela 2, são apresentados na Tabela 3 e na Figura 3. Observa-se que a *commodity* arroz foi a que mais transferiu informação para as *commodities* analisadas, seguida por porco e frango. O arroz também foi a *commodity* que mais recebeu informação das demais, seguido por porco e trigo. A transferência total de entropia mostra que o preço do frango apresentou maior fluxo líquido de transferência para as demais *commodities*, enquanto o trigo foi a *commodity* que recebeu maior fluxo líquido de informação.

**Tabela 3.** Transferência total de informação recebida ($T^{in}$), transmitida ($T^{out}$) e líquida ($T^{net} = T^{out} - T^{in}$) entre as *commodities* agrícolas analisadas no mercado brasileiro

| ***Commodity*** | $T^{in}$ | $T^{out}$ | $T^{net}$ |
|---|---|---|---|
| Açúcar | 0,0310 | 0,0318 | 0,0008 |
| Algodão | 0,0325 | 0,0323 | -0,0002 |
| Arroz | 0,0393 | 0,0425 | 0,0032 |
| Bezerro | 0,0263 | 0,0283 | 0,0020 |

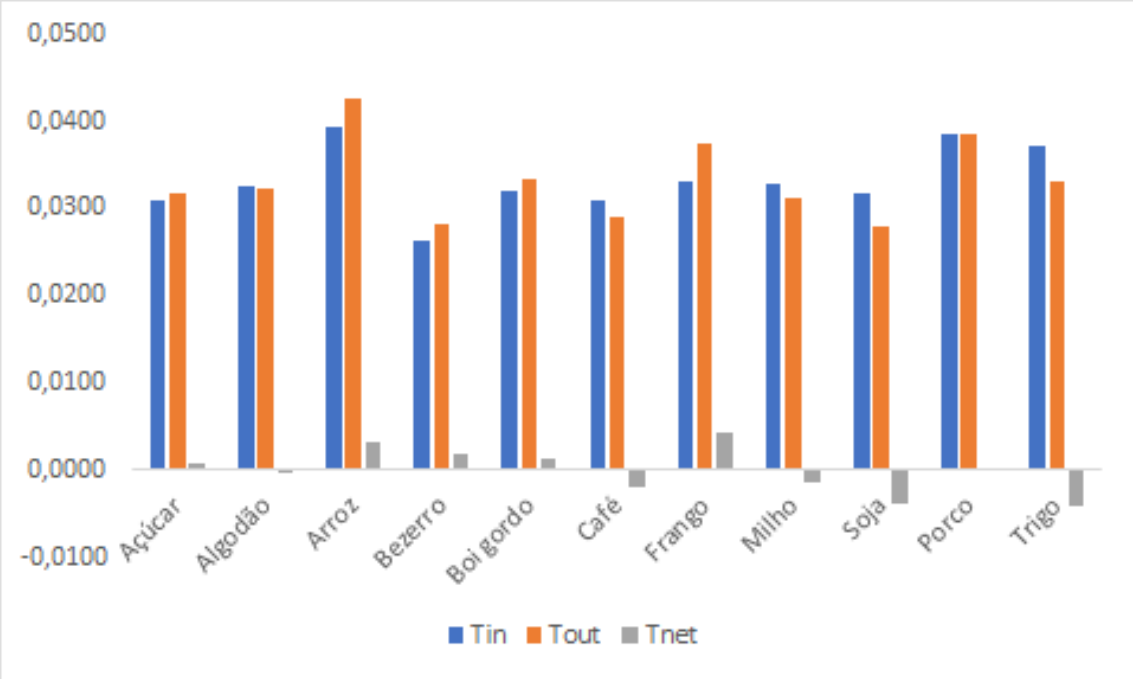


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Boi gordo | 0,0321 | 0,0334 | 0,0013 |
| Café | 0,0309 | 0,0291 | -0,0018 |
| Frango | 0,0331 | 0,0373 | 0,0042 |
| Milho | 0,0327 | 0,0312 | -0,0015 |
| Soja | 0,0318 | 0,0279 | -0,0039 |
| Suíno | 0,0386 | 0,0386 | 0,0000 |
| Trigo | 0,0371 | 0,0330 | -0,0041 |

Fonte: elaboração própria.

**Figura 3.** $T^{in}$, $T^{out}$ e $T^{net}$ para *commodities* agrícolas do mercado brasileiro




Fonte: elaboração própria.

Os valores de $T^{in}$, $T^{out}$ e $T^{net} = T^{out} - T^{in}$ para *commodities* do tipo grãos, proteínas e *soft*, obtidos a partir da Tabela 2, são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6 e nas Figuras 4, 5 e 6. Observa-se que, nas *commodities* de grãos, o milho foi quem recebeu menos informação; em contrapartida, a soja foi a que mais recebeu, mas também a que mais transferiu. O fluxo de direção, de acordo com a estatística $T^{net}$, ocorreu de Soja → Milho/Trigo e de Milho/Soja → Trigo.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

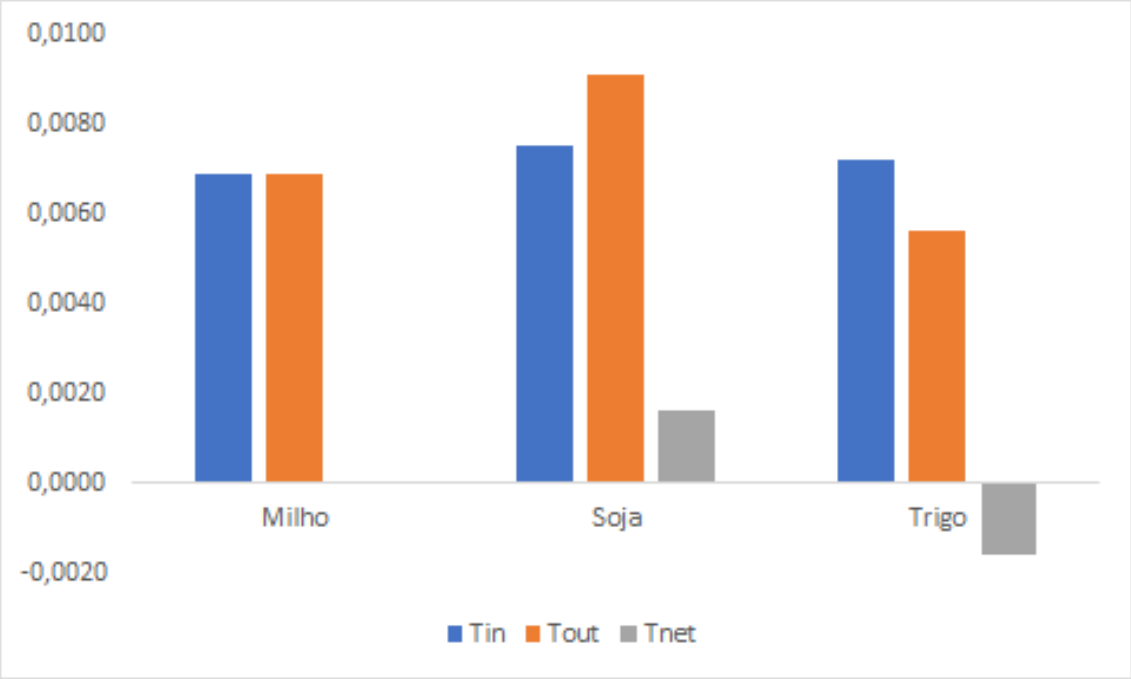
Para as *commodities* proteínas, a carne suína foi a *commodity* que recebeu mais informação, e o frango foi quem mais transferiu. Ainda, os resultados indicam fluxo de direção de Frango → Bezerro/Boi gordo/Suíno e de Bezerro/Boi gordo/Frango → Suíno. Por fim, para as *soft commodities*, a $T^{net}$ indica fluxo de informação de Arroz → Açúcar/Algodão/Café e de Algodão/Arroz/Café → Açúcar.

**Tabela 4.** Transferência total de informação recebida ($T^{in}$), transmitida ($T^{out}$) e líquida ($T^{net} = T^{out} - T^{in}$) entre as *commodities* do grupo de grãos

| Commodity | $T^{in}$ | $T^{out}$ | $T^{net}$ |
|---|---|---|---|
| Milho | 0,0069 | 0,0069 | 0,0000 |
| Soja | 0,0075 | 0,0091 | 0,0016 |
| Trigo | 0,0072 | 0,0056 | -0,0016 |

Fonte: elaboração própria.

**Figura 4.** $T^{in}$, $T^{out}$ e $T^{net}$ para *commodities* do tipo grãos




Fonte: elaboração própria.



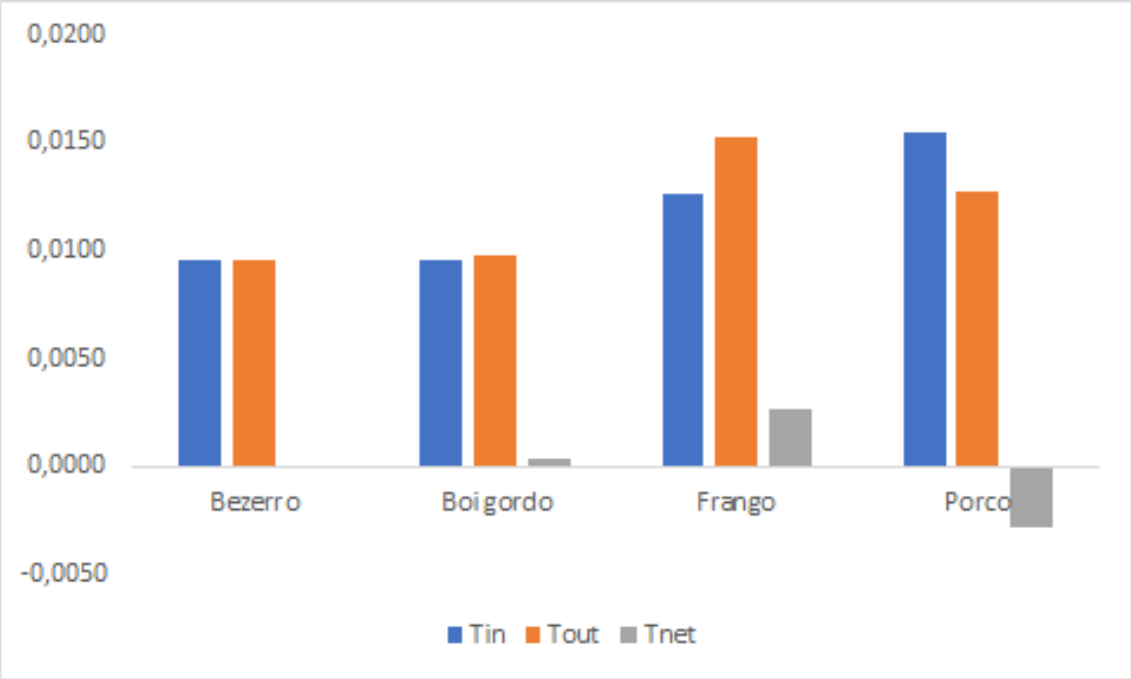
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

**Tabela 5.** Transferência total de informação recebida ($T^{in}$), transmitida ($T^{out}$) e líquida ($T^{net} = T^{out} - T^{in}$) entre as *commodities* do grupo de proteínas animais

| Commodity | $T^{in}$ | $T^{out}$ | $T^{net}$ |
|---|---|---|---|
| Bezerro | 0,0096 | 0,0095 | -0,0001 |
| Boi gordo | 0,0095 | 0,0098 | 0,0003 |
| Frango | 0,0126 | 0,0152 | 0,0026 |
| Suíno | 0,0155 | 0,0127 | -0,0028 |

Fonte: elaboração própria.

**Figura 5**. $T^{in}$, $T^{out}$ e $T^{net}$ para *commodities* do tipo proteína




Fonte: elaboração própria.



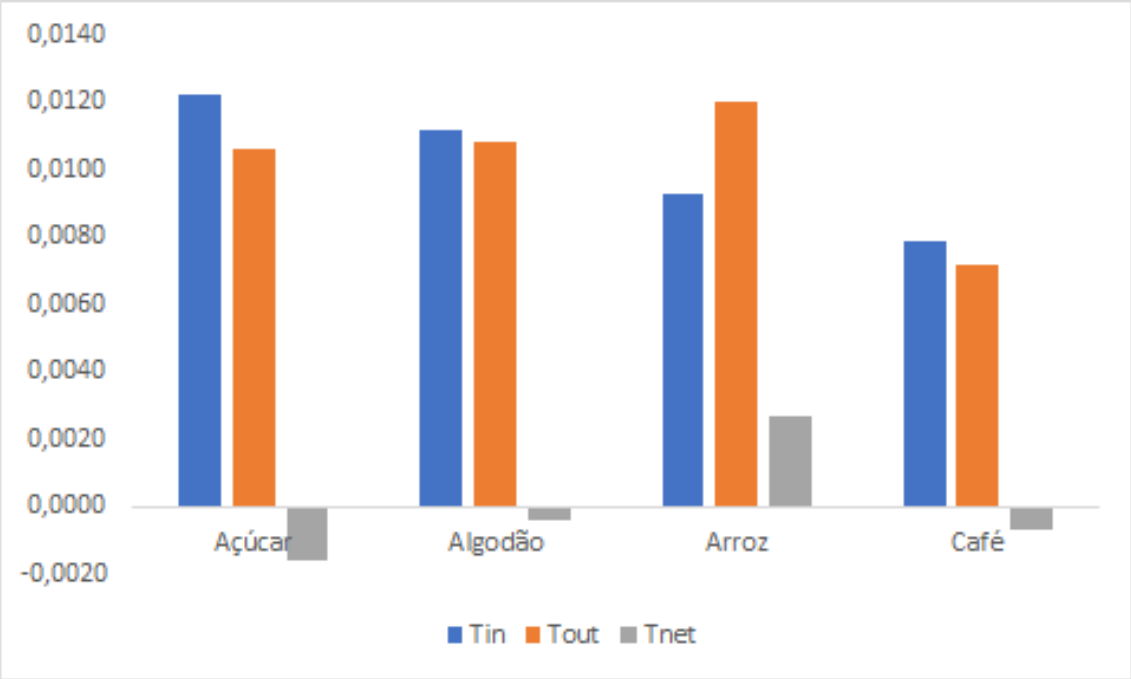
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

**Tabela 6**. Transferência total de informação recebida ($T^{in}$), transmitida ($T^{out}$) e líquida ($T^{net} = T^{out} - T^{in}$) entre as *soft commodities*

| Commodity | $T^{in}$ | $T^{out}$ | $T^{net}$ |
|---|---|---|---|
| Açúcar | 0,0122 | 0,0106 | -0,0016 |
| Algodão | 0,0112 | 0,0108 | -0,0004 |
| Arroz | 0,0093 | 0,0120 | 0,0027 |
| Café | 0,0079 | 0,0072 | -0,0007 |

Fonte: elaboração própria.

**Figura 6**. $T^{in}$, $T^{out}$ e $T^{net}$ para *commodities* do tipo *soft*




Fonte: elaboração própria.

O comportamento das séries de retornos fornece base para a análise de eficiência dos mercados financeiros. No caso do método de Entropia de Transferência, o mercado mais eficiente transfere menos informação entre seus componentes. A transferência total, definida como a soma dos valores absolutos de $T^{net}$ para todos os pares de *commodities*, apresentou valores de 0,0032 para o mercado de grãos, 0,0058 para o de proteínas e 0,0054 para o de *soft*



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

*commodities*, indicando que o mercado das *commodities* relacionadas a grãos foi o mais eficiente.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou a transferência direcional de informação entre as séries temporais dos preços de *commodities* agrícolas brasileiras, considerando o período de janeiro de 2010 a 3 de agosto de 2022. As 11 *commodities* foram organizadas em três grupos: grãos, composto por milho, soja e trigo; proteínas animais, formado por bezerro, boi gordo, frango e suíno; e *soft commodities*, constituído por açúcar, algodão, arroz e café. A Entropia de Transferência foi aplicada às séries de retornos logarítmicos com o propósito de quantificar a magnitude e a direção dos fluxos de informação entre os mercados analisados.

Considerando conjuntamente todas as séries, o arroz apresentou os maiores valores totais de informação recebida e transmitida, evidenciando elevada integração com as demais *commodities*. O frango registrou a maior transferência líquida positiva, caracterizando-se como o principal transmissor líquido de informação, enquanto o trigo apresentou o valor mais negativo e predominou como receptor líquido. Nas análises por grupos, a soja destacou-se como transmissora líquida entre os grãos, enquanto o trigo predominou como receptor. No grupo das proteínas animais, o frango foi o principal transmissor e o suíno, o principal receptor. Entre as *soft commodities*, o arroz apresentou a maior transmissão líquida, enquanto o açúcar se destacou pelo recebimento de informação.

A comparação entre os grupos mostrou que o mercado de grãos apresentou o menor valor absoluto de transferência líquida total, seguido pelas *soft commodities* e pelas proteínas animais. De acordo com o critério adotado neste artigo, esse resultado indica maior eficiência informacional relativa do grupo de grãos. Os achados contribuem para a compreensão das interações entre os preços agrícolas brasileiros, mas devem ser interpretados como evidências de dependência direcional entre as séries, e não, isoladamente, como demonstração de causalidade econômica.

Como perspectivas para trabalhos futuros, recomenda-se investigar possíveis mudanças na estrutura dos fluxos de informação entre os períodos anterior, durante e posterior à pandemia de COVID-19, bem como avaliar os efeitos associados à guerra na Ucrânia. Também podem ser consideradas extensões da metodologia, como as Entropias de Transferência de Rényi e de Tsallis, além de análises em janelas móveis para examinar a evolução temporal das relações entre os mercados.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

## REFERÊNCIAS

ADHIKARI, R.; AGRAWAL, R. K. An introductory study on time series modeling and forecasting. *arXiv preprint arXiv:1302.6613*, 2013.

ASSAF, A.; BILGIN, M. H.; DEMIR, E. Using transfer entropy to measure information flows between cryptocurrencies. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, v. 586, art. 126484, 2022.

BECKMANN, J.; CZUDAJ, R. Volatility transmission in agricultural futures markets. *Economic Modelling*, v. 36, p. 541-546, 2014.

BENNETT, A.; NIJSSEN, B.; OU, G.; CLARK, M.; NEARING, G. Quantifying process connectivity with transfer entropy in hydrologic models. *Water Resources Research*, v. 55, n. 6, p. 4613-4629, 2019.

BITTENCOURT, M. *Commodities agrícolas: o guia completo para o produtor rural*. Aegro, 2022. Disponível em: https://aegro.com.br/blog/*commodities*-agricolas/. Acesso em: 27 abr. 2022.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C.; LJUNG, G. M. *Time series analysis: forecasting and control*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

CAMPUZANO, S. A.; DE SANTIS, A.; PAVÓN-CARRASCO, F. J.; OSETE, M. L.; QAMILI, E. New perspectives in the study of the Earth's magnetic field and climate connection: the use of transfer entropy. *PLOS ONE*, v. 13, n. 11, e0207270, 2018.

COVER, T. M. *Elements of information theory*. New York: John Wiley & Sons, 1999.

DIMPFL, T.; PETER, F. J. Using transfer entropy to measure information flows between financial markets. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, v. 17, n. 1, p. 85-102, 2013.

FANO, R. M. *Transmission of information: a statistical theory of communications*. Cambridge: MIT Press; New York: John Wiley & Sons, 1961.

FAROOKI, M.; KAPLINSKY, R. *The impact of China on global commodity prices: the global reshaping of the resource sector*. London: Routledge, 2012.

FERNÁNDEZ-MUÑOZ, J.; HAUNTON, V. J.; PANERAI, R. B.; JARA, J. L. Detection of blood $CO_2$ influences on cerebral hemodynamics using transfer entropy. *Entropy*, v. 26, n. 1, art. 23, 2023.

FERREIRA, P.; ALMEIDA, D.; DIONÍSIO, A.; BOURI, E.; QUINTINO, D. Energy markets: who are the influencers? *Energy*, v. 239, art. 121962, 2022.

FRASER, A. M.; SWINNEY, H. L. Independent coordinates for strange attractors from mutual information. *Physical Review A*, v. 33, n. 2, p. 1134-1140, 1986.

GELPI, F.; BARI, V.; CAIRO, B.; DE MARIA, B.; WELLS, R.; BAUMERT, M.; PORTA, A. Evaluation of cardiovascular and cerebrovascular control mechanisms in postural orthostatic tachycardia syndrome via conditional transfer entropy: the impact of the respiratory signal type. *Physiological Measurement*, v. 44, n. 6, art. 064001, 2023.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

HE, J.; SHANG, P. Comparison of transfer entropy methods for financial time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 482, p. 772-785, 2017.

HE, L.-Y.; CHEN, S.-P. Multifractal detrended cross-correlation analysis of agricultural futures markets. *Chaos, Solitons & Fractals*, v. 44, n. 6, p. 355-361, 2011.

HEALTHCAST. *TransEnt: transfer entropy package*. GitHub, [s. d.]. Disponível em: https://github.com/Healthcast/TransEnt. Acesso em: 26 jun. 2026.

HOCHMAN, G.; RAJAGOPAL, D.; TIMILSINA, G.; ZILBERMAN, D. Quantifying the causes of the global food commodity price crisis. *Biomass and Bioenergy*, v. 68, p. 106-114, 2014.

IVANIC, M.; MARTIN, W.; ZAMAN, H. Estimating the short-run poverty impacts of the 2010-11 surge in food prices. *World Development*, v. 40, n. 11, p. 2302-2317, 2012.

KIM, Y.; KIM, J.; YOOK, S.-H. Information transfer network of global market indices. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 430, p. 39-45, 2015.

KRUG, A.; POTHAPAKULA, P. K.; PRIMO, C.; AHRENS, B. Heavy Vb-cyclone precipitation: a transfer entropy application showcase. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 30, n. 3, p. 279-284, 2021.

KWON, O.; YANG, J.-S. Information flow between composite stock index and individual stocks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 387, n. 12, p. 2851-2856, 2008.

MITRA, S. K.; BHATIA, V.; JANA, R. K.; CHARAN, P.; CHATTOPADHYAY, M. Changing value detrended cross correlation coefficient over time: between crude oil and crop prices. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 506, p. 671-678, 2018.

NAKAJIMA, K.; SCHMIDT, N.; PFEIFER, R. Measuring information transfer in a *soft* robotic arm. *Bioinspiration & Biomimetics*, v. 10, n. 3, art. 035007, 2015.

NAZLIOGLU, S.; SOYTAS, U. Oil price, agricultural commodity prices, and the dollar: a panel cointegration and causality analysis. *Energy Economics*, v. 34, n. 4, p. 1098-1104, 2012.

NERI, M.; COULIBALY, P.; TOTH, E. Similarity of catchment dynamics based on the interaction between streamflow and forcing time series: use of a transfer entropy signature. *Journal of Hydrology*, v. 614, art. 128555, 2022.

PORFIRI, M. Inferring causal relationships in zebrafish-robot interactions through transfer entropy: a small lure to catch a big fish. *Animal Behavior and Cognition*, v. 5, n. 4, p. 341-367, 2018.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020.

ROSEGRANT, M. W.; CLINE, S. A. Global food security: challenges and policies. *Science*, v. 302, n. 5652, p. 1917-1919, 2003.

SCHREIBER, T. Measuring information transfer. *Physical Review Letters*, v. 85, n. 2, p. 461-464, 2000.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

SENSOY, A.; SOBACI, C.; SENSOY, S.; ALALI, F. Effective transfer entropy approach to information flow between exchange rates and stock markets. *Chaos, Solitons & Fractals*, v. 68, p. 180-185, 2014.

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, v. 27, n. 3, p. 379-423, 1948.

SHUMWAY, R. H.; STOFFER, D. S. *Time series analysis and its applications*. New York: Springer, 2000.

SILINI, R.; TIRABASSI, G.; BARREIRO, M.; FERRANTI, L.; MASOLLER, C. Assessing causal dependencies in climatic indices. *Climate Dynamics*, v. 61, n. 1, p. 79-89, 2023.

STUMPO, M.; BENELLA, S.; CONSOLINI, G.; ALBERTI, T. Dynamical information flow within the magnetosphere-ionosphere system during magnetic storms. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, v. 34, n. 1, p. 1-9, 2023.

URSINO, M.; RICCI, G.; MAGOSSO, E. Transfer entropy as a measure of brain connectivity: a critical analysis with the help of neural mass models. *Frontiers in Computational Neuroscience*, v. 14, art. 45, 2020.

VAN MILLIGEN, B. P.; BIRKENMEIER, G.; RAMISCH, M.; ESTRADA, T.; HIDALGO, C.; ALONSO, A. Causality detection and turbulence in fusion plasmas. *Nuclear Fusion*, v. 54, n. 2, art. 023011, 2014.

WU, Z.; ZHANG, Q.; WANG, L.; CHENG, L.; ZHOU, J. Early fault detection method for rotating machinery based on harmonic-assisted multivariate empirical mode decomposition and transfer entropy. *Entropy*, v. 20, n. 11, art. 873, 2018.

XIE, W.; GAO, D.; LEE, E. W. Detecting undeclared-leader-follower structure in pedestrian evacuation using transfer entropy. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 23, n. 10, p. 17644-17653, 2022.

ZHENG, L.; PAN, W.; LI, Y.; LUO, D.; WANG, Q.; LIU, G. Use of mutual information and transfer entropy to assess interaction between parasympathetic and sympathetic activities of nervous system from HRV. *Entropy*, v. 19, n. 9, art. 489, 2017.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.