

Uma proposta de construção de um hedge de compra de milho em Marechal Rondon-PR

Introdução

O milho é um importante alimento e está na base alimentar de diversas culturas do mundo. Assim como no Brasil, o cereal está na base de várias cadeias produtivas e é um elo estratégico de extrema importância para as cadeias de avicultura de corte e postura, suinocultura, bovinocultura de corte e leite, alimentação humana, entre outras cadeias produtivas (Tonin & Alves, 2007), sendo que os principais estados produtores dessa commodity são o Mato Grosso e o Paraná. Dessa forma, busca-se estudar neste trabalho a efetividade de hedge de milho, localizado na região de Marechal Cândido Rondon.

Problema de Pesquisa e Objetivo

Dessa forma, embora exista estudos que buscaram avaliar a efetividade de hedge de milho (Tonin & Alves, 2007; Neto, Figueiredo, & Machado, 2009; Rodrigues & Cunha, 2013), não foi avaliada a possibilidade de construir um hedge com preços futuros referenciados na B3 para proteção de preços de milho referenciados na região de Marechal Cândido Rondon, no Paraná. Assim, surge a questão norteadora nesta pesquisa: É possível construir um hedge efetivo de milho localizado em Marechal Cândido Rondon utilizando derivativos referenciados na B3?

Fundamentação Teórica

O risco de base, que é o principal fator de ineficiência de hedge compõe o time value, que inclui os juros embutidos nos preços futuros (derivativos) e sua diferença para os preços no mercado físico (à vista, spot). Por isso, um dos grandes desafios para a construção de uma estrutura de hedge de commodities eficiente é o hedge ratio, cuja determinação deve estabelecer uma razão ótima de hedge (Yaganti & Kamaiah, 2012). Assim, para se obter um hedge altamente efetivo é necessário construir um hedge de mínima variância (Tonin & Alves, 2007; Neto, Figueiredo, & Machado, 2009)

Metodologia

Desenvolvemos uma equação que modela a relação entre preços físicos em MCR e futuros da B3, tendo por base sua regressão linear e um modelo de ECM (Error Correction Model), e propusemos um ajuste na quantidade negociada de hedge para proteção das variações adversas do preço do milho em Marechal Cândido Rondon, PR, de forma que Também desenvolvemos testes de efetividade, por análise de sensibilidade e Dollar Offset para avaliar a efetividade de hedge em uma metodologia alternativa.

Análise dos Resultados

As séries são cointegradas a 1% de significância. Isso é indicativo de que o futuro de milho negociado na B3 sirva como uma boa ferramenta de hedge, apesar do risco de base existente entre as duas praças. Dessa forma, o fator de hedge de 96,9% é adequado para o produtor em MCR que tenha interesse de “travar” o preço ex ante, com uma efetividade de 98,5%. Nos modelos 1 e 2, a proporção indicada de hedge é pouco maior que 100%, de 108,4% ($\beta = 1.084$) no modelo 2 e 109,1% ($\beta = 1.091$) no modelo 1. Os testes de dollar offset e análise de sensibilidade também apresentaram um hedge altamente efetivo.

Conclusão

Acreditamos que seja possível construir um hedge altamente efetivo considerando a relação dos log retornos dos preços físicos referenciados em Marechal Cândido Rondon (MCR) e dos futuros da B3. Ainda que haja o fator de risco de base que causa ineficiência na relação de hedge é possível estruturar um hedge e mínima variância de forma que as compensações dos futuros sejam razoáveis em relação às variações de preços à vista em MCR.

Referências Bibliográficas

Kar, S., & Khandelwal, P. (2020). Cross-hedging aviation fuel price exposures with commodity futures: Evidence from the Indian aviation industry. *IIMB Management Review*, pp. 389-401. Witt, H. J., Schroeder, T. C., & Hayenga, M. L. (1987). Comparison of analytical approaches for estimating hedge ratios for agricultural commodities. *Journal of Futures Markets*, pp. 135-146. Rodrigues, G. Z., & Cunha, C. A. (2013). Operações de hedge de milho para importantes municípios goianos. *Revista Política Agrícola*, pp. 38-55

Contribuição / Impacto

Este estudo tomou por base os preços de milho no Paraná e sua relação com os preços do milho na B3 e comprovou que é possível estruturar uma relação de hedge altamente efetiva, ajustada por um Fator de Hedge, tanto pelo alto R2 dos Modelos OLS, 1 e 2, quanto pela alta efetividade encontrada nos testes seguindo as metodologias de Análise de Sensibilidade e Dollar Offset, mitigando a ineficiência do hedge em função do “risco de base”. Mostrou que é possível mitigar impactos adversos nas compras de milho através do uso de contratos futuros negociados na B3 ou NDFs de milho ajustados pelo Fator de

Título do artigo: Uma proposta de construção de um hedge de compra de milho em Marechal Rondon-PR

Resumo

Neste artigo, analisamos a relação entre o preço do milho no oeste do Paraná e na B3, medido pelo primeiro futuro de milho, em Reais por saca. Desenvolvemos uma equação que modela esta relação, tendo por base sua regressão linear, e propusemos um ajuste na quantidade negociada de hedge para proteção das variações adversas do preço do milho em Marechal Cândido Rondon, PR. Tal ajuste, que denominamos de Fator de Hedge, visa mitigar o risco de base (“basis”) oriundo da existência de diferentes localidades de plantio, colheita e comercialização desta commodity e respectivos custos de transporte e armazenagem, além de pressões de oferta e demanda. Evidenciamos que a tradicional inefetividade do hedge de commodities pode ser mitigada com o uso do Fator de Hedge, tendo por base o alto R^2 obtido no modelo estatístico. Também desenvolvemos testes de efetividade, por análise de sensibilidade e *Dollar Offset*, que mostraram que a aplicação do Fator de Hedge resulta em uma relação de hedge altamente efetiva para o período estudado.

Palavras-chave: Agronegócio. Hedge. Efetividade.

1. Introdução

O agronegócio é na atualidade o principal setor da economia brasileira, responsável por 27,4% do Produto Interno Bruto (PIB) (CEPEA, 2022). O Brasil possui ampla capacidade de produção de alimentos e, há alguns anos, já é o maior do mundo. Na safra 2020/21, fomos o maior produtor de soja do mundo, com 135 milhões de toneladas (Canalagro, 2022). Nesta mesma safra, produzimos 100 milhões de toneladas de milho sendo, assim, o quarto maior produtor mundial desta commodity.

O milho é um importante alimento e está na base alimentar de diversas culturas do mundo. Assim como no Brasil, o cereal está na base de várias cadeias produtivas e é um elo estratégico de extrema importância para as cadeias de avicultura de corte e postura, suinocultura, bovinocultura de corte e leite, alimentação humana, entre outras cadeias produtivas (Tonin & Alves, 2007), sendo que os principais estados produtores dessa commodity são o Mato Grosso e o Paraná.

No caso do Paraná, há uma grande quantidade de pequenos e médios produtores filiados às cooperativas que concentram os estoques e comercialização dessas commodities. Isso ajuda os produtores de milho a conduzirem uma melhor negociação comercial para a sustentabilidade do agronegócio, que sofre grandes impactos com a volatilidade dos preços. Justamente por conta da grande variação dos preços (Zilli, Silva, Campos, & Costa, 2008), consideram que as estimativas de rentabilidade por parte dos produtores ficam prejudicadas e, por consequência, a gestão dos resultados das atividades agropecuárias se torna um desafio para os empresários do agronegócio. No entanto, a comercialização de commodities está cada vez mais tomando sua importância no negócio por ser um ponto crucial e de alto risco.

Os riscos da comercialização de commodities envolvem diversos fatores intrínsecos e extrínsecos, como a qualidade do produto, o tipo de produto disponível, a capacidade de estocagem e limpeza, sazonalidade, risco de quebra de safra, riscos logísticos, etc. Neste último, o conjunto de riscos contém o “basis” ou “risco base” e o “prêmio” sobre o preço de referência da commodity. O “basis” ou “risco de base” é função da diferença entre o preço nas localidades em que a companhia atua e a praça de formação do preço desta commodity para o contrato futuro listado nas bolsas de valores e mercadorias. Mas não existe um contrato derivativo capaz de proteger o basis. Então, para mitigar tal problema, é necessário ajustar a quantidade de hedge à realidade local de cada companhia.

Definir o ajuste da quantidade de hedge via derivativos (denominado aqui de “Fator de Hedge”), tendo em vista o risco de base na comercialização do milho é o principal objetivo deste artigo. Aqui, foi analisado o preço do milho no oeste do Paraná e modelado seu hedge através da contratação de derivativos referenciados no milho negociado na Bolsa, Brasil, Balcão (B3¹), em Reais por saca.

A adequação do Fator de Hedge proposto por modelos econométricos foi verificada em função do alto R² dos modelos gerados. Também foi analisada a eficiência deste Fator de Hedge por meio de Testes de Efetividade quantitativos, de *dollar offset* e análise de sensibilidade por meio de modelos de apreçamento de valor justo de operações de NDF, considerando uma métrica de cálculo sobre o valor presente das operações e valor futuro.

2. Problema de pesquisa e objetivo

Considerando o “basis” com o principal causador da ineficiência do hedge, seria necessário existir uma bolsa ou um balcão em cada localidade que há negociações de milho no Brasil para que os derivativos possibilitassem o efeito esperado, protegendo produtores e

companhias do agronegócio contra a variação adversa de preço. Além disso, um dos pré-requisitos para que futuros funcionem efetivamente como um instrumento de garantia de preços, é a existência de liquidez no mercado, ou seja, alto fluxo de compradores e vendedores, o que implica em um volume considerável de contratos negociados diariamente (Marques, Mello, & Martines, 2006). Caso isso fosse possível, muito provavelmente haveria pouca liquidez dos contratos negociados e não geraria o efeito esperado de formação de preço derivado de uma commodity referenciando o mercado físico do produto e vice e versa. Ou seja, como não é possível haver um contrato de milho para cada localidade de produção e comercialização da commodity, os derivativos listados em bolsa são referenciados em localidades estratégicas e, assim, os participantes das demais localidades terão que se adequar. Uma adequação possível é ajustar o Fator ou quantidade de hedge, para mitigar o diferencial de preço, decorrente de estar em uma diferente localidade geográfica (base).

Vale lembrar que tal “risco de base” é influenciado especialmente por custos de frete, logística, armazenagem, oferta e demanda e, assim, está sujeito a variações todos os dias, precisando ser atualizado antes do fechamento dos hedges via derivativos. Sabendo dessa problemática, da diferença de preços por conta da localidade, buscamos, através de estudos estatísticos e testes de efetividade, criar um Fator de Hedge para o Milho, que ajusta a quantidade de contratos derivativos a ser fechada na B3 para proteger ao máximo da variação de preço do milho considerando a localidade de Marechal Candido Randon (MCR), no oeste do Paraná (PR). Dessa forma, embora existam estudos que buscaram avaliar a efetividade do hedge de milho (Tonin & Alves, 2007; Neto, Figueiredo, & Machado, 2009; Rodrigues & Cunha, 2013), não foi avaliada a possibilidade de construir um hedge com preços futuros referenciados na B3 para proteção de preços de milho referenciados na região de Marechal Candido Rondon, no Paraná. Assim, surge a questão norteadora nesta pesquisa: **É possível construir um hedge efetivo de milho localizado em Marechal Cândido Rondon utilizando derivativos referenciados na B3?**

3. Fundamentação teórica

3.1 Hedge de commodities utilizando derivativos

O termo hedge, que pode ser entendido como “cobertura”, está associado à proteção financeira de um determinado ativo. Esta estratégia visa garantir a proteção de um ativo contra oscilações inesperadas em seu preço, com o objetivo de eliminar ou reduzir o risco da operação ou investimento (Carmona, Aquino, Paredes, & Torres, 2014, p. 31). Nesse sentido, devido à volatilidade nos preços do milho, as companhias que operam, seja para consumo, revenda ou industrialização, ficam expostas a essas variações que podem impactar adversamente a margem do negócio. Para isso, são contratados instrumentos financeiros derivativos que consistem essencialmente em assumir, para um tempo futuro, a posição oposta à que se tem no mercado à vista (no físico). A estrutura de hedge de um consumidor (que terá que comprar a commodity em datas futuras), ou do agente que tenha uma posição vendida no mercado físico de commodities, é denominada de hedge de compra (Farhi, 1999).

Um derivativo pode ser definido como um instrumento financeiro cujo valor depende ou deriva dos valores de outras variáveis subjacentes, possui valor justo inicial irrisório ou nulo e é liquidado em data futura, sendo que pode depender de diversas variáveis de mercado (Hull, 2016), por isso o seu potencial de ser um instrumento de proteção de posições físicas de commodities. As exposições das commodities geralmente são exposições projetadas, ou seja, as companhias dimensionam o tamanho da exposição em função de sua base orçamentária ou

de contratos executórios, os quais por vezes não estão refletidos nas demonstrações financeiras. Portanto, uma característica específica dessas exposições é a sua dinamicidade ao longo do tempo, pois podem entrar ou sair novos contratos, ou pode haver uma reavaliação periódica do orçamento que altere as expectativas de compra do milho por algum motivo. Por essa razão, os derivativos mais utilizados para proteção de riscos provenientes de exposições de commodities são as opções, futuros e contratos a termo (NDF²), os quais refletem melhor a essência econômica dos riscos financeiros do segmento, tendo em vista que geralmente o ativo objeto da relação de hedge é um componente dinâmico, que pode, ao longo do tempo, variar conforme reavaliações orçamentárias e contratuais. Desse modo, (Farhi, 1999) elaborou possíveis eventos, de maneira não exaustiva, que podem ocorrer ao longo da vida do hedge de commodities e possíveis consequências e tomadas de decisão, que são apresentadas na **tabela 1**, a seguir.

Tabela 1: Possíveis eventos para hedge de commodities

Item	Descrição do evento
a	Se a operação no mercado à vista for efetivada antes do vencimento do derivativo, este será concomitantemente liquidado (antes do vencimento).
b	A operação de cobertura de riscos também pode ser renovada para outro vencimento. Haverá hedge enquanto a posição no mercado à vista estiver acompanhada de uma posição oposta nos mercados de derivativos, e ela estará coberta (protegida).
c	O hedge pode ser liquidado antes do vencimento ou não renovado, embora se conserve a posição no mercado à vista. Esta posição não acompanhada de uma posição oposta nos mercados de derivativos passa, então, a estar descoberta. Todas as oscilações positivas ou negativas das cotações no mercado repercutem diretamente sobre uma posição não protegida. Em consequência, ao mantê-la, seu detentor estará objetivamente especulando sobre uma evolução favorável das cotações no mercado à vista.
d	A posição no mercado à vista pode ser liquidada embora se conserve a posição nos mercados de derivativos. O detentor desta posição, que também está descoberta (não protegida), passa a especular sobre uma evolução favorável das cotações nos mercados de derivativos.

Fonte: (Farhi, 1999)

Assim, é possível observar que é necessário um monitoramento contínuo do hedge, de forma que os derivativos acompanhem o tamanho e período das exposições protegidas. Para construção de um hedge de milho no Brasil, observa-se aspectos que devem ser avaliados na busca por uma melhor efetividade em relação a exposição protegida no físico, o que muitos mencionam como razão ótima de hedge (Hull, 2016), a qual é definida conforme a proporção do tamanho da posição em derivativos em relação à exposição no mercado físico.

Portanto, destaca-se que, na maioria dos casos, demonstra-se apenas a razão de hedge de 1,0. Ou seja, o número de ativos protegidos pela operação de hedge nos contratos derivativos e no mercado físico são definidos na mesma proporção. Porém é necessário destacar que, se o objetivo do hedger for se proteger contra o risco, minimizando ao máximo o mesmo, não necessariamente será estabelecida uma razão de hedge em 1,0 (Neto, Figueiredo, & Machado, 2009, p. 118). Esse fato está diretamente relacionado à principal potencial fonte de inefetividade na relação de hedge do milho, conforme **Tabela 2**.

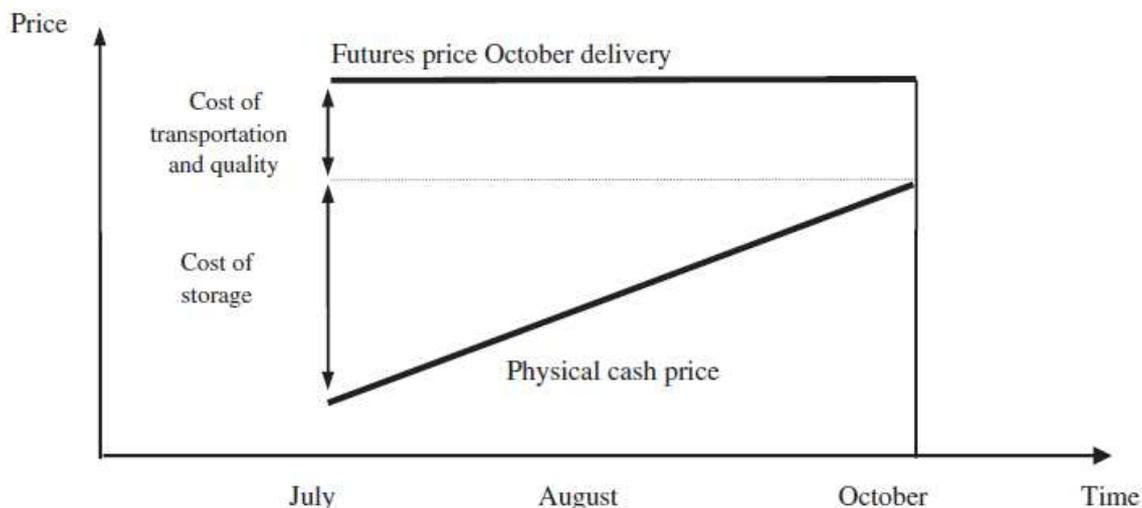
Tabela 2: Composição dos riscos em uma relação de hedge de milho

Risco	Descrição do Risco
Preço da Commodity	Risco decorrente da variação do preço do <i>milho</i> proveniente de fatores econômicos, tais como oferta e demanda, referenciados nos contratos futuros da B3.
Risco de base ou “Basis”	Risco decorrente da disparidade de preço causada pela diferença geográfica entre os pontos de produção e comercialização da commodity (físico) e do preço de referência dos contratos futuros (Campinas, SP, no milho B3).

Fonte: Elaborado pelos autores

Nesse sentido, observamos na **Figura 1** que o preço futuro do derivativo nunca será idêntico ao preço do ativo físico, mesmo na sua data de liquidação, em que o preço futuro tende a se aproximar mais do preço físico. Assim, sempre haverá uma inefetividade na relação de hedge, seja observando através dos preços futuros ou através dos preços à vista.

Figura 1: Exemplo de “risco de base”



Fonte: (Roncoroni, Fusai, & Cummins, 2015)

O “risco de base” compõe o *time value*, que inclui os juros embutidos nos preços futuros (derivativos) e sua diferença para os preços no mercado físico (à vista, spot). Por isso, um dos grandes desafios para a construção de uma estrutura de hedge de commodities eficiente é o *hedge ratio*, cuja determinação deve estabelecer uma razão ótima de hedge (Yaganti & Kamaiah, 2012), tendo em vista que o risco de base irá gerar inefetividade na relação de hedge. Isso porque os preços nas bolsas de mercadorias e valores e os preços do físico poderão se movimentar em direções opostas e diferentes dimensões de elasticidade, quando forem referenciados em praças de negociação distintas – como ocorre com o hedge de milho na B3 protegendo preços de físico referenciados em Marechal Candido Rondon, PR.

Por exemplo, supondo que a saca de milho seja avaliada a R\$ 29,50 em Rio Verde, GO, e que o índice para Campinas, SP, da ESALQ, usado para liquidação dos contratos futuros de milho na B3 marque R\$ 37,13 por saca, tem-se que o risco de base em Rio Verde é de R\$ -7,63

por saca, ou que Rio Verde apresenta um desconto de R\$ 7,63/saca em relação à B3 (StoneX, 2021). Este desconto é chamado de “basis”.

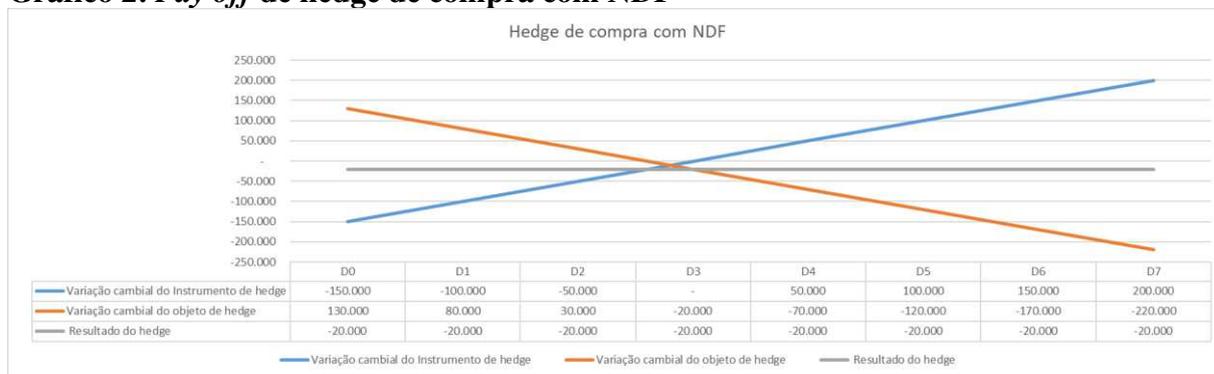
3.2 Relação econômica e efetividade de hedge

A efetividade de hedge é oriunda de uma adequada relação econômica de proteção. Ou seja, a efetividade de hedge decorre da construção de uma relação de proteção que seja capaz de atingir plenamente seu objetivo. Embora esta pesquisa não tenha um cunho contábil, a norma contábil traz premissas relacionadas à representação fidedigna das transações de hedge, logo, em essência, traz uma visão sobre o conceito de relação econômica de hedge.

Um dos requisitos para que exista relação econômica de proteção é que o instrumento de hedge e a exposição protegida (também conhecida por objeto de hedge) possuam valores que se movem em direções opostas devido à variação de preço, cujo movimento adverso é o risco protegido na relação. Portanto, deve haver expectativa de que o valor do instrumento de hedge e o valor do item protegido mudem sistematicamente em resposta a movimentos em qualquer item ou itens subjacentes deles que estiverem economicamente relacionados, de tal forma que respondem de modo similar ao risco que está sendo protegido, por exemplo, petróleo bruto do tipo Brent e WTI³. Ou seja, ao se fazer um hedge espera-se limitar ou travar o risco protegido, de forma que a empresa não fique exposta às variações do físico que impactem adversamente seu negócio.

Para exemplificar, foi elaborada uma simulação de liquidação do derivativo, também conhecida por gráfico de *pay-off*, de um hedge de compra de dólar utilizando uma NDF comprada em R\$/USD, em comparação a um fluxo de caixa dolarizado a pagar, conforme **Gráfico 1**.

Gráfico 2: Pay off de hedge de compra com NDF



Fonte: Elaborado pelos autores

Como se pode observar, ainda que haja aumento ou queda no preço do dólar, haverá uma fixação na relação econômica. No exemplo, o efeito será sempre uma perda de 20.000 Reais, pois está sendo considerado o custo de hedge que está embutido na taxa a termo do derivativo. Esse exemplo representa o que se denomina um hedge altamente efetivo, ou seja, a variação dos preços se move exatamente na mesma proporção e em direções opostas, de forma que resulta em um fluxo de caixa determinável até o fim do período de hedge. É isso que se busca quando se constrói uma relação de hedge, neste caso, considerando uma NDF ou futuro como o instrumento de proteção.

Em uma relação de hedge de commodities, sobretudo no que tange ao hedge de milho protegido pelas empresas do agronegócio brasileiras utilizando como referência os preços futuros da B3, é de suma importância considerar as características relevantes da relação de hedge, incluindo as fontes de inefetividade. As fontes de inefetividade são representadas pelas

diferenças entre as características do instrumento e do objeto de hedge, sendo que o “risco de base” é a principal. Isso ocorre seja utilizando de futuros, NDF ou opções como instrumentos de proteção.

Existem diversas metodologias adotadas para avaliar a efetividade de hedge (Finnerty & Grant, 2002; Hailer & Rump, 2005), de forma que são consideradas as variações no valor justo ou fluxos de caixa do instrumento e objeto de hedge, sendo duas as mais praticadas: o (1) *dollar offset* e (2) *análise de sensibilidade*. Um hedge altamente efetivo é aquele em que o resultado da efetividade de hedge se aproxima o máximo possível de 100%, o que significa que todas as variações do objeto foram compensadas por variações do instrumento de proteção.

4. Metodologia

4.1 Construção de hedge de mínima variância

Neste estudo, foi escolhido o milho em Marechal Cândido Rondon (“MCR”), que é uma localidade no oeste do Paraná, importante estado produtor do grão no Brasil. Além disso, lá atuam inúmeras cooperativas e tradings, ativamente comprando e vendendo milho no dia a dia. O milho geralmente é negociado nesta região em Reais por saca. Assim, o contrato futuro da B3, em Reais por saca e com liquidação apenas financeira, é o que melhor representa a situação local e tende a ser a melhor solução de hedge.

A despeito da baixa liquidez do milho B3, a bolsa possui *market makers*⁴ para viabilizar seus negócios. Os contratos futuros de milho negociados em Chicago são cotados em dólares por *bushel* e, assim, haveria vários detalhes a ajustar para ser tornarem um hedge altamente efetivo para o milho no oeste do Paraná.

Para estimar o Fator de Hedge de mínima variância, foram utilizados preços diários referentes a praça de MCR e os preços diários do primeiro futuro de milho, com ticker CCM, transacionados na B3, extraídos da plataforma Comdinheiro. Ambas as séries são mensais e tem início em 02 de janeiro de 2019, com o último mês sendo maio de 2022. No que tange a estruturação de um hedge altamente efetivo, de acordo com Kar e Khandelwal (2020), o *cross hedge* é utilizado para commodities que não possuem contratos futuros ou a termo e, assim, é necessário utilizar futuros de outra commodity relacionada (“proxy”). Ainda assim, o caminho via *cross hedge* ou “proxy hedge” também pode ser utilizado para contornar “risco de base”. Dessa forma, para estimar o fator ótimo de hedge, utilizamos o **Modelo 1**:

$$\Delta \ln S_{i,t} = \alpha + \beta \Delta \ln F_{j,t} + u_t \quad (1)$$

Nesse, $\Delta \ln S_{i,t}$ é a primeira diferença do logaritmo natural do preço spot, e $\Delta \ln F_{j,t}$ é a primeira diferença do logaritmo do preço futuro mais próximo em relação ao spot. Utilizou-se o futuro mais próximo em razão da maior liquidez e menor impacto de custos, conforme explicitado por (Kar & Khandelwal, 2020). No caso, inferiu-se uma estratégia de hedge por meio da rolagem de contratos futuros. O R^2 do modelo 1 é considerado como uma medida de efetividade do hedge e, assim, será interpretado nas seções de análise. O β (beta) do Modelo 1 representa o Fator de Hedge, ou seja, a proporção de futuro a ser comprada para obter o hedge que provoque a menor variância no resultado do hedger. Hull (2016) demonstra que a fórmula para o hedge de menor variância é $h = \rho * \frac{\sigma_s}{\sigma_f}$ onde ρ é a correlação entre a variação de preço spot e variação de preço futuro, σ_s é o desvio padrão da variação de preço spot e σ_f é o desvio padrão da variação de preço futuro. Hull (2016) ressalta que essa fórmula é igual ao beta de

uma regressão linear, assim, como dito anteriormente, os β dos dois modelos serão interpretados como o Fator de Hedge de mínima variância.

Uma segunda alternativa foi um modelo de ECM (Error Correction Model), de acordo com o **Modelo 2**:

$$\Delta \ln S_{i,t} = \alpha + \beta \Delta \ln F_{j,t} + \sum_k \lambda_k \Delta \ln F_{j,t-k} + \sum_k \omega_k \Delta \ln S_{i,t-l} + \theta e_{t-1} + u_t \quad (2)$$

Nesse, e_{t-1} é um parâmetro de correção do erro e é obtido por meio de uma regressão entre $\ln S_{i,t}$ e $\ln F_{j,t}$, e o coeficiente β continua sendo o Fator de Hedge de mínima variância. O parâmetro e_{t-1} também é conhecido como velocidade de ajuste em torno do equilíbrio de longo prazo.

4.2 Metodologia de teste de efetividade de hedge

Não existe uma metodologia padrão para testar a efetividade de uma relação de *hedge*. No entanto, o cálculo da efetividade neste trabalho é feito de forma que seja possível observar percentualmente o quanto as variações de valor do item protegido estão sendo compensadas pelas variações de valor do instrumento de hedge. Para isso, utilizou-se como premissa o método *Forward*, que considera em seu cálculo as variações integrais do valor justo do instrumento de hedge, em relação às variações no valor justo do objeto de hedge. A metodologia adotada foi o *Dollar Offset* e a Análise de sensibilidade, considerando o instrumento de hedge uma operação de NDF em condições de mercado, sem custos de transação.

O *Dollar Offset* foi aplicado no período mensal, entre fevereiro de 2022 e abril de 2022, avaliando-se as compensações das variações no valor justo do NDF comprado (instrumento de hedge) e de um NDF vendido (objeto de hedge), de forma que o segundo represente os riscos existentes nas compras futuras de milho em MCR. O valor justo dos NDFs comprado e vendido foram referenciados no preço futuro do milho B3 e suas respectivas mudanças foram ajustadas pelo beta do **Modelo 1** (detalhado em 4.1). Dessa forma, projetou-se o preço futuro do NDF vendido a partir do Modelo 1 e o coeficiente linear (β) foi usado para ponderar qual seria o preço futuro na praça de negociação ($F_{j,t}$), dado o preço futuro na B3 ($S_{i,t}$). As diferenças futuras dos preços do instrumento de hedge e do objeto de hedge foram descontadas a valor presente através das taxas futuras de DI da B3, interpoladas exponencialmente. Assim, o teste de efetividade, considerando o ajuste na quantidade de instrumento (Fator de Hedge) e o ajuste do preço futuro no objeto (preço futuro hipotético para MCR), será mensurado da seguinte forma:

$$Dollar\ offset = \frac{\Delta Valor\ justo_{IH} = \left[\left(\frac{(PF_{t0})}{(1+i)^{252}} - \frac{(PF_{tn})}{(1+i)^{252}} \right) \times nomenclatura \times \beta \right]}{\Delta Valor\ justo_{OH} = \left[\left(\frac{(PF_{t0}) \times \beta}{(1+i)^{252}} - \frac{(PF_{tn}) \times \beta}{(1+i)^{252}} \right) \times exposição \right]} \times -1 \quad (3)$$

A análise de sensibilidade consiste em metodologia semelhante ao *Dollar Offset*. Suas diferenças são que: (i) na análise de sensibilidade, considera-se os preços futuros sem descontá-los à valor presente; (ii) aplica-se choques de -25%, +25%, -50% +50% nas curvas futuras de mercado do instrumento e objeto de hedge; e (iii) mensura-se a efetividade considerando-se somente o início da relação de hedge, que foi em fevereiro de 2022. Assim:

$$Sensibilidade = \frac{\Delta Valor\ futuro_{IH} = [(PF_{t0}) - (PF_{tn} \times Sens)] \times nomenclatura \times \beta}{\Delta Valor\ futuro_{OH} = [(PF_{t0}) \times \beta] - [(PF_{tn} \times Sens) \times \alpha + \beta] \times exposição} \times -1 \quad (4)$$

4.3 Limitações da pesquisa

A análise do Fator de Hedge visa modelar a relação entre a variação dos preços de uma commodity em uma localidade e o contrato futuro listado em bolsa que pode ser usado para fins de hedge. Uma limitação do estudo é que os preços não estão em um mesmo instante de tempo, sendo um à vista (spot, na localidade) e outro futuro (listado em bolsas de mercadorias e valores). Isso é mitigado pela tendência do futuro a convergir ao spot no vencimento e pelo uso do primeiro futuro (menor *time value*) neste estudo.

Quanto aos modelos de teste de efetividade, *Dollar offset* e *Análise de Sensibilidade*, considera-se como limitação a ausência do fator de variação de “risco de base” ao longo dos períodos de teste de efetividade, bem como da metodologia utilizada para se estimar um preço futuro de milho referenciado em MCR hipotético, cujos modelos podem variar, partindo do futuro ajustado ou do preço à vista projetado.

Adicionalmente, também não foi considerado o reequilíbrio da relação de hedge, ou seja, do ajuste no *notional* dos derivativos em função das mudanças no “risco de base”. Outra limitação da pesquisa foi que o derivativo *NDF* modelado foi estruturado sem considerar custos de transação, como o spread do banco cobrado na taxa a termo da operação.

5. Análise dos resultados

5.1 Estatística descritiva

Para verificar a relação linear entre o preço à vista e o futuro, foram estimadas as correlações entre os preços à vista da praça de MCR com os preços futuros negociados na B3, considerando os contratos de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro.

A

A **estatística** descritiva apresentada na Tabela 3 revela que, nesse período, o menor preço praticado na praça de MCR foi de R\$ 28 por saca enquanto o menor preço na B3 foi de R\$ 36,5 por saca. O preço máximo da B3 também foi mais alto, de R\$ 103,92, contra R\$ 97 por saca em MCR. Na média, o preço à vista MCR foi de R\$ 53,87 enquanto, na B3, foi de R\$ 62,99 por saca. É possível observar também que o desvio padrão das duas séries são parecidos.

Tabela 3: Estatística Descritiva – preços, em R\$ por saca

	N	Média	Desvio padrão	Min	Max
MCR	22	53,87	24,84	28	97
B3	22	62,99	25,46	36,5	103,92

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela mostra que o preço à vista, também chamado de *spot*, é fortemente correlacionado aos preços de diferentes futuros, ao longo dos anos. Neste estudo, analisou-se os futuros de milho negociados na B3 com vencimentos em janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro, entre janeiro de 2019 e maio de 2022. As altas correlações obtidas são um indicativo de que os preços futuros da B3 são um bom hedge para os compradores e vendedores da praça de MCR.

A estatística descritiva apresentada na **Tabela 3** revela que, nesse período, o menor preço praticado na praça de MCR foi de R\$ 28 por saca enquanto o menor preço na B3 foi de R\$ 36,5 por saca. O preço máximo da B3 também foi mais alto, de R\$ 103,92, contra R\$ 97 por saca em MCR. Na média, o preço à vista MCR foi de R\$ 53,87 enquanto, na B3, foi de R\$ 62,99 por saca. É possível observar também que o desvio padrão das duas séries são parecidos.

Tabela 3: Estatística Descritiva – preços, em R\$ por saca

	N	Média	Desvio padrão	Min	Max
MCR	22	53,87	24,84	28	97
B3	22	62,99	25,46	36,5	103,92

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 4: Correlação entre preço *spot* e diversos futuros

Spot/ Futuro	Mesmo Ano						Ano Seguinte						Dois anos depois					
	Jan	Mar	Mai	Jul	Set	Nov	Jan	Mar	Mai	Jul	Set	Nov	Jan	Mar	Mai	Jul	Set	Nov
Jan	0,9980	0,9975	0,9977	0,9980	0,9968	0,9977	0,9982	0,9690	0,9803	0,8694	0,9776	---	---	---	---	--	---	--
Fev	---	0,9990	0,9975	0,9966	0,9960	0,9967	0,9974	0,7158	---	0,9053	0,9997	---	---	---	---	-	---	-
Mar	---	0,9991	0,9944	0,9952	0,9935	0,9940	0,9927	0,9837	0,9106	0,7815	0,9626	---	---	---	---	-	---	-
Abr	---	---	0,9966	0,9969	0,9947	0,9945	0,9928	0,9923	0,9854	0,6736	0,9877	---	---	---	---	-	---	-
Mai	---	---	0,9981	0,9942	0,9865	0,9851	0,9845	0,9812	0,9740	0,9834	0,9669	---	---	---	---	-	---	-
Jun	---	---	---	0,9954	0,9935	0,9946	0,9945	0,9948	0,9957	0,9926	0,9966	---	---	---	---	-	---	-
Jul	---	---	---	0,9993	0,9957	0,9952	0,9948	0,9951	0,9954	0,9950	0,9957	---	---	---	---	-	---	-
Ago	---	---	---	---	0,9968	0,9982	0,9987	0,9986	0,9969	0,9932	0,9973	0,9972	---	0,7584	---	-	---	-
Set	---	---	---	---	0,9986	0,9980	0,9980	0,9974	0,9972	0,9928	0,9943	0,9946	---	0,8779	---	-	(0,7868)	-
Out	---	---	---	---	---	0,9813	0,9818	0,9857	0,9924	0,9917	0,9911	0,9527	0,8580	0,5605	---	-	0,4039	-
Nov	---	---	---	---	---	0,9956	0,9963	0,9978	0,9978	0,9873	0,9759	0,9695	0,7238	0,6138	---	-	0,7666	-
Dez	---	---	---	---	---	---	0,9865	0,9914	0,9931	0,9969	0,9922	0,9919	0,9615	0,2140	0,3594	-	0,9298	-

Fonte: Dados da pesquisa

5.2 Modelo sugerido para construção do Fator de Hedge de compra de milho

A **Tabela 5** mostra que tanto o preço *spot* em MCR quanto o preço futuro na B3 tem raiz unitária e são estacionários na sua primeira diferença a 99% de confiança. Assim, foi conduzido o teste de Engle-Granger para verificar a cointegração entre as duas séries.

Tabela 5: Teste de Raiz Unitária

		ADF	Engle-Granger
	Nível	1º Diferença (ln)	1º Diferença
MCR	-0,342	-4,284	
p-value	(0,919)	(0,000)	-4.760
B3	-0.463	-3,995	(-4,500)*
p-value	(0,899)	(0,001)	

*valor crítico para 1% segundo (MacKinnon, 2010)

Fonte: Dados da pesquisa

A **Tabela 5** também mostra que as séries são cointegradas a 1% de significância. Isso é indicativo de que o futuro de milho negociado na B3 serve como uma boa ferramenta de hedge, apesar do “risco de base” existente entre as duas praças.

Assim, para verificar o Fator de Hedge ótimo, foram estimados os Modelos 1 e 2, descritos em 4.1, junto a uma regressão de mínimos quadrados ordinários (Modelo OLS). Os resultados são apresentados na **Tabela 6**. A coluna (1) é um Modelo OLS e indica uma razão de hedge de mínima variância de 96,9% da quantidade de interesse. Importante ressaltar que, apesar do criticismo em relação à regressão em nível de preços, em razão da não estacionariedade, raiz unitária e possibilidade de ser uma regressão espúria, conforme posto por (Brown, 1985), contudo (Witt, Schroeder, & Hayenga, 1987) argumentam que tal regressão é adequada para o tipo de hedge em que a intenção é puramente antecipar o preço.

Dessa forma, o fator de hedge de 96,9% (medido pelo “F” e apresentado na segunda coluna da Tabela 6) é adequado para o produtor em MCR que tenha interesse de “travar” o preço *ex ante*, com uma efetividade de 98,5% (R^2 , apresentado na segunda coluna da Tabela 6).

A proporção indicada de hedge no Modelo 2 é de 108,4% ($\beta = 1.084$) e de 109,1% ($\beta = 1.091$) no Modelo 1, conforme colunas 3 e 4 da **Tabela 6**. Importante ressaltar que a efetividade do hedge medida pelo R^2 foi maior no Modelo 1, de 82,7%, contra 81,8% no Modelo 2. Ainda assim, o fator de correção ao equilíbrio de longo prazo não se mostrou significativo.

Tabela 6: Resultados do modelo – Fator de Hedge ótimo

	Modelo OLS MCR	Modelo 1 $\Delta \ln \text{MCRS}$	Modelo 2 $\Delta \ln \text{MCRS}$
F	0.969*** (0.0263)		
$\Delta \ln F$		1.091*** (0.115)	1.084*** (0.125)
e			-0.0886 (0.242)
Constante	-7.148*** (1.780)	0.00588 (0.0129)	0.00648 (0.0142)

Meses	22	21	20
R ²	0.985	0.827	0.818

Erros padrão em parêntesis.

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fonte: Dados da pesquisa

Assim, para realizar o hedge de mínima variância, é indicada a negociação de contratos futuros de milho na B3 na quantidade de 96,9% a 109,1% do montante desejável de proteção (quantidade de sacas de milho) em MCR, com o objetivo de mitigar o “risco de base”.

5.1 Dollar offset e Análise de sensibilidade

A **Tabela 7** apresenta os resultados obtidos com o teste de efetividade via Análise de Sensibilidade, ajustando-se o Fator de Hedge ao “F” apresentado na **Tabela 6**. Pode-se observar que a relação de hedge, no instrumento ajustado ao Fator de Hedge e no objeto de hedge, em todos os cenários de choques nas curvas futuras de preços de milho, apresenta efetividade de 100%. Isso porque o teste foi realizado considerando-se o início da relação de hedge, ou seja, a data em que o derivativo é contratado. Partindo de um fator de compra estático, é compreensível que a efetividade inicial da relação de hedge seja 100%, uma vez que não foi considerada a mudança do “risco de base”, o que poderia ocasionar em alguma parcela inefetividade na relação de hedge ao longo do tempo, se o Fator de Hedge não for ajustado.

Tabela 7: Efetividade de hedge - Análise de Sensibilidade, ajustando Fator de Hedge

Choque nos preços futuros	25%	50%	-25%	-50%
Efetividade	100%	100%	100%	100%

Fonte: Dados da pesquisa

A **Tabela 8** mostra os resultados do teste de efetividade via metodologia *Dollar Offset*, também ajustados pelo Fator de Hedge “F” apresentado na **Tabela 6**. Pode-se verificar que o hedge foi altamente efetivo no período de fevereiro a abril de 2022. No início da relação de hedge, em fevereiro de 2022, o hedge foi 100% efetivo – o que condiz com a *Análise de Sensibilidade*. Nos dois meses seguintes, a efetividade do hedge, ajustado pelo Fator de Hedge para mitigar o “risco de base” (diferencial entre o preço do milho na B3 e em MCR), também se mostra próxima de 100% pois considera as variações dos preços futuros na B3 em relação aos preços futuros de milho projetados para MCR. Nesta projeção de preços futuros para MCR, utilizou-se o Modelo OLS proposto na **Tabela 6**.

Considerando-se a variação no valor justo de instrumento e objeto de hedge, a variação acumulada de hedge é de 101,96% (conforme Tabela 8), suportando a efetividade de hedge construída no modelo ajustado pelo Fator de Hedge.

Tabela 8: Efetividade de hedge - Dollar Offset, ajustando Fator de Hedge

Período	fev/22	mar/22	abr/22	Acumulado
Efetividade	100,00%	102,13%	101,52%	101,96%

Fonte: Dados da pesquisa

6. Contribuição

Neste estudo, buscou-se endereçar um importante problema do hedge de commodities: sua ineficiência em função do derivativo listado em bolsa (utilizado para fins de hedge) não possuir as mesmas características daquele ativo-objeto na localidade. Adotando metodologia similar à desenvolvida para “proxy hedge”, a quantidade de derivativos a ser fechada na bolsa ou em balcão organizado foi ajustada por um Fator de Hedge, tendo em vista o histórico de preços na localidade e suas diferenças, em termos de retornos logarítmicos.

Tendo em vista que não há um hedge de “basis”, a adoção do Fator de Hedge mitiga o “risco de base”, oriundo da diferença de localidades e respectivos preços. Sua eficiência foi comprovada pelo alto R^2 obtido no modelo estatístico. Também foram desenvolvidos testes de efetividade, por Análise de Sensibilidade e *Dollar Offset*, que mostraram que a aplicação do Fator de Hedge melhora a efetividade do hedge do risco de variação adversa de preço do milho na localidade de MCR

(Neto, Figueiredo, & Machado, 2009; Rodrigues & Cunha, 2013) avaliaram a eficiência de hedge em função do “risco de base” e (Tonin & Alves, 2007) o fizeram para a região de Maringá, no Paraná, que é uma região próxima de MCR. Confirmaram que a efetividade do hedge é baixa nesta região pois não aplicaram o Fator de Hedge proposto nesta pesquisa.

O presente estudo, por sua vez, tomou por base os preços de milho na região de MCR e sua relação com os preços do milho na B3 (em consonância com (Kar & Khandelwal, 2020)) e comprovou que é possível estruturar uma relação de hedge altamente efetiva, ajustada pelo Fator “F” proposto na Tabela 6, tanto pelo alto R^2 dos Modelos OLS, 1 e 2, quanto pela alta efetividade encontrada nos testes seguindo as metodologias de Análise de Sensibilidade e *Dollar Offset*, mitigando a ineficiência do hedge em função do “risco de base”.

Visando contribuir com gestores financeiros e de riscos na construção de um hedge altamente efetivo, mostrou que é possível mitigar impactos adversos nas compras de milho através do uso de contratos futuros negociados na B3 ou NDFs de milho ajustados pelo Fator de Hedge para sua localidade de atuação (neste estudo, em Marechal Cândido Rondon, no PR), possibilitando proteger a alta de custos e as margens do negócio. Importante ressaltar que deve haver o monitoramento contínuo e ajuste periódico do Fator de Hedge, pois este pode se alterar na medida em que os preços variam na B3 e/ou nas localidades de comercialização ao longo do tempo.

Para pesquisas futuras, sugere-se o estudo de hedge de outras commodities considerando os modelos de construção de hedge de mínima variância e metodologias de teste de efetividade adotadas neste estudo, ampliando os períodos de teste de efetividade e considerando o reequilíbrio periódico da relação de hedge.

Referências

- Brown, S. L. (1985). A reformulation of the portfolio model of hedging. *American Journal of Agricultural Economics*, pp. 508-512.
- Canalagro. (2022). Retrieved from <https://summitagro.estadao.com.br>
- Carmona, C. M., Aquino, J. T., Paredes, B. B., & Torres, M. L. (2014, Abr-Jun). TEORIA DO HEDGE: RECORTES TEÓRICO-EMPÍRICOS APLICADOS À GESTÃO DO RISCO COM DERIVATIVOS. *RIC - Revista de Informação Contábil* -, 8, pp. 29-48.
- CEPEA. (2022, Julho). *CEPEA ESALQ USP*. Retrieved from www.cepea.esalq.usp.br

- Farhi, M. (1999, dez). Derivativos financeiros: hedge, especulação e arbitragem. *Economia e Sociedade*, pp. 93-114.
- Finnerty, J. D., & Grant, D. (2002, June). Alternative Approaches to Testing Hedge Effectiveness under SFASNo. 133. *Accounting Horizons*, pp. 95-108.
- Hailer, A. C., & Rump, S. M. (2005). EVALUATION OF HEDGE EFFECTIVENESS TESTS. *Journal of Derivatives Accounting*, 2, pp. 31-51.
- Hull, J. C. (2016). *Opções, Futuros e outros derivativos* (9ª ed.). bookman.
- Kar, S., & Khandelwal, P. (2020). Cross-hedging aviation fuel price exposures with commodity futures: Evidence from the Indian aviation industry. *IIMB Management Review*, pp. 389-401.
- MacKinnon, J. (2010). Critical values for cointegration tests. *Queen's Economics Department Working Paper*.
- Marques, P., Mello, P., & Martines, F. (2006). *Mercados futuros e de Opções agropecuárias: Departamento de Economia, Administração e Sociologia* (Vols. D-219). Piracicaba.
- Neto, O. O., Figueiredo, R. S., & Machado, A. G. (2009, mai-ago). Efetividade de hedge e razão ótima de hedge para cultura do milho no estado de Goiás. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 5, pp. 115-138.
- Rodrigues, G. Z., & Cunha, C. A. (2013). Operações de hedge de milho para importantes municípios goianos. *Revista Política Agrícola*, pp. 38-55.
- Roncoroni, A., Fusai, G., & Cummins, M. (2015). *Handbook of Multi-Commodity Markets and Products: Structuring, Trading and Risk Management*. John Wiley & Sons Ltd.
- StoneX. (2021, Janeiro). *Entendendo os conceitos de spread e basis no mercado de derivativos de commodities – Parte 2*. Retrieved from <https://www.mercadosagricolas.com.br/inteligencia/entendendo-os-conceitos-de-spread-e-basis-no-mercado-de-derivativos-de-commodities-parte-2/>
- Tonin, J. M., & Alves, A. F. (2007, junho). ANÁLISE DE BASE PARA O MILHO NA REGIÃO DE MARINGÁ. *Revista Cesumar - Ciências Humanas e Sociais Aplicadas*, 12(1), 59-84.
- Witt, H. J., Schroeder, T. C., & Hayenga, M. L. (1987). Comparison of analytical approaches for estimating hedge ratios for agricultural commodities. *Journal of Futures Markets*, pp. 135-146.
- Yaganti, H. C., & Kamaiah, B. (2012, Jun). Hedging Efficiency of Commodity Futures Markets in India. *Journal of Financial Risk Management*.
- Zilli, J. B., Silva, A. F., Campos, S. K., & Costa, J. S. (2008, Julho). Razão ótima de hedge para os contratos futuros do Boi Gordo: uma análise do mecanismo de Correção de Erros. *XKVU Congresso da Sociedade Brasileiro de Economia, Administração e Sociologia Rural*.

¹ bolsa brasileira de mercadorias e valores. Acesso: https://www.b3.com.br/pt_br/

² É um contrato a termo negociado em mercado de balcão liquidado financeiramente, por isto sua nomenclatura *Non-Deliverable Forward*.

³ petróleo bruto produzido na principal região petrolífera dos EUA. *WTI* é a sigla para *West Texas Intermediate*.

⁴ *Market Maker*, Formador de mercado, criador de mercado ou agente de liquidez, é uma pessoa jurídica devidamente cadastrada na B3, que se compromete a manter ofertas de compra e venda de forma regular e contínua durante a sessão de negociação, fomentando a liquidez dos valores mobiliários, facilitando os negócios e mitigando movimentos artificiais nos preços dos produtos. A atividade do *Market Maker* está regulamentada pela instrução CVM nº 384 de 17 de março de 2003 e pelo regulamento para credenciamento do formador de mercado nos mercados administrados pela B3.