



Congresso Internacional de Administração
ADM 2021

Administração Ágil
Inovação e Trabalho Remoto

25 a 27
de outubro

Ponta Grossa - Paraná - Brasil



UTILIZANDO CONTROLES DE CLIMATIZAÇÃO EM INSTALAÇÕES DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS: UMA ANÁLISE ATRAVÉS DE OPÇÕES REAIS

USING AIR CONDITIONING CONTROLS IN GRAIN STORAGE FACILITIES: AN ANALYSIS THROUGH REAL OPTIONS

ÁREA TEMÁTICA: FINANÇAS. INVESTIMENTO E APREÇAMENTO DE ATIVOS.

Otávio Augusto Mazzarolo, UFPR, Brasil, otaviomazzarolo@gmail.com

Rodrigo Oliveira Soares, UFPR, Brasil, rosoares@ufpr.br

Resumo

A metodologia de análise de investimentos via Opções Reais como alternativa ou complemento ao VPL pode ser uma ferramenta importante de tomada de decisão financeira. Ao destacar o valor embutido na flexibilidade de um determinado investimento, ela nos permite melhor compreendê-lo, e decidir ou não pela sua execução. Projetos de investimentos em silos de armazenagem de grãos são um exemplo no qual opções reais estão presentes. O agricultor pode postergar a venda do grão armazenado, por um tempo. A instalação de sistemas de aquecimento, resfriamento e condicionamento de ar, representados pela sigla em inglês HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), permite estender o prazo de armazenagem do grão. Esta possibilidade de postergação adicional também é uma opção real, cujo valor pode ser calculado com a metodologia apresentada neste trabalho.

Palavras-chave: Opções reais; Projetos de investimento; Incertezas; Flexibilidade gerencial; Tomada de decisões; Armazenagem e secagem de grãos.

Abstract

The method of investment analysis via Real Options as an alternative or supplement to NPV calculations can be an important tool in financial decision making. By highlighting the value embedded in the flexibility of a given investment, it allows us to better understand it and make an informed decision on its execution. Investment projects in grain storage facilities are one example where real options are present. The farmer can postpone the sale of in-storage production, for a certain amount of time. The installation of Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) systems allows an extension of the maximum duration of the storage. Such additional possibility of postponing a sale is also a real option, and its value may be calculated by utilization of the methodology presented in this article.

Keywords: Real options; Investment projects; Uncertainties; Managerial flexibility; Decision making; Grain storage and heating.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Secretaria de Política Agrícola do Ministério da Agricultura, na próxima década o Brasil deve produzir mais de 300 milhões de toneladas de grãos, estimativa que significa um acréscimo de 27% no período 2019-2029. Esta tendência é reforçada por fatores que geram

expectativas de crescimento de demanda: Por um lado, o fator populacional, pois segundo a ONU, até 2030 a população mundial deve chegar a 8,5 bilhões de pessoas. Por outro, o aspecto econômico pelo aumento da renda (e conseqüente aumento no consumo calórico) de países como a China no passado recente, e possivelmente de fronteiras econômicas ainda em desenvolvimento no sudeste asiático e na África.

Para o agricultor, isto se traduz em oportunidades de negócios. A demanda pelo seu produto aumenta, e, possivelmente, também o preço. Uma das questões com as quais o empresário rural precisa trabalhar é escolher qual o melhor momento para a sua venda: se tiver a disponibilidade de armazenar seu grão adequadamente em silos, então ele tem a opção de postergar a sua venda por um tempo. Todavia esta opção tem um tempo de exercício, que é o período de deterioração do grão.

O valor de mercado dos grãos é muito afetado pela sua qualidade. Disto resulta que um sistema de armazenagem de alta qualidade tem a condição de interferir favoravelmente no preço de venda. Também se sabe que para cada tipo de grão existe uma condição ideal de estocagem. Umidade e temperatura, qualidade do ar, a velocidade de renovação de ar externo, e até mesmo a direção do fluxo de ar podem ser manipulados de forma a favorecer a preservação das características ótimas da produção.

Nesse cenário, surge como alternativa a tecnologia de HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*). Utilizando sensores e conceitos importados da indústria 4.0, ela permite a implementação de controles de ar que otimizam as condições de armazenagem e alongam o tempo máximo durante o qual a safra pode ficar armazenada. Com isto, o produtor tem a opção de postergar a venda de seu produto por um prazo além do usual, aguardando o momento mais adequado.

Entretanto, a decisão de implementar um sistema de HVAC custa caro, e precisa ser bem embasada. Investir ou não em um tal sistema não é uma escolha simples nem barata, e a tomada de decisão precisa ser bem embasada. Como descobrir se a adição de um sistema de condicionamento de ar se traduz em benefício econômico para o produtor? E qual é o valor esperado para este sistema?

Este projeto de artigo vai apresentar a Teoria de Opções Reais como uma forma para lidar com estas questões. A inclusão de opções reais complementa a análise mais tradicional de valor presente líquido (VPL), ao agregar o valor de certas decisões embutidas no projeto, cuja precificação tem sido realizada de maneira análoga à de opções financeiras. Dois fatores aumentam a utilidade das Opções Reais como forma de precificação de ativos. São eles a incerteza e, principalmente, a flexibilidade na execução do projeto. Na presença destes fatores, o cálculo de valor presente líquido deixa uma quantidade importante de valor fora da avaliação. Ao ignorar a flexibilidade – ou, dito de outra forma, ao desconsiderar em seu cálculo que um projeto de climatização confere ao agricultor algumas opções, que este agricultor pode ou não exercer, o cálculo de VPL tende a subestimar o valor econômico real deste investimento para o agricultor. Isto acontece não por uma falha de cálculo do analista, mas sim devido a uma característica intrínseca da metodologia, que não inclui as opções que podem estar embutidas no projeto.

A Teoria de Opções Reais, por outro lado, tem seu forte especificamente em acolher no cálculo a existência de decisões intermediárias, que acontecem durante o desenvolvimento do projeto. São escolhas ainda “em aberto” no momento inicial, mas que, todavia, ali estão, e cujo valor pode e deve ser incorporado à análise. Cabe então perceber que há tais opções disponíveis para o agricultor que planeja instalar um sistema de controle de ar em seu silo. Por exemplo, ao agregar tal sistema em seu silo, o produtor alonga a vida útil de seu grão, e adquire a opção de vendê-lo mais tarde, se assim o desejar.

Este estudo visa a analisar e modelar, através da utilização de Opções Reais como método de precificação e avaliação de investimentos, a implementação de sistemas de HVAC em Instalações de Armazenagem de Grãos. Sabe-se que a metodologia de Opções Reais tem aplicação mais complexa do que o VPL, e possivelmente por este motivo é menos utilizada e difundida. Entre os motivos estão, além da complexidade do tema, a falta de informações para que um cálculo apurado seja bem executado, e a possível falta de experiência dos diretores executivos com o tema específico de opções reais, embora em geral talvez seja possível dizer que já estejam bastante familiarizados com a metodologia de VPL.

2. RESENHA BIBLIOGRÁFICA: AS OPÇÕES REAIS NO AMBIENTE DE INCERTEZA E FLEXIBILIDADES GERENCIAIS

2.1 O Risco e a Incerteza nos Mercados Modernos

O primeiro ponto deste tópico é a conceituação das incertezas no ambiente em que o gestor de projetos está inserido e como este fator impacta na tomada de decisão. Sabe-se que “conviver com as incertezas (modificações nos preços, flutuação nas taxas de juros, alterações nas preferências do consumidor) faz parte da vida empresarial. Uma vez identificadas e compreendidas as incertezas, elas podem ser gerenciadas e até mesmo controladas por meio da flexibilidade” (Copeland e Antikarov (2001). Vanderlei e Carmona (2008), dão particular destaque para a volatilidade e imprevisibilidade do ambiente econômico no qual as companhias atualmente operam. Seja por estar em mercados mais abertos à concorrência estrangeira, seja por atuações econômicas menos intervencionistas dos governos, como, por exemplo, a maior liberdade para a flutuação das taxas de câmbio, em comparação com o passado. Some-se a isso a necessidade de investimentos em novas tecnologias, e os investimentos em geral acabam por ser analisados como componente fundamental para a estratégia competitiva das empresas.

Kessinger (1987) aborda que no processo decisório de investimentos os projetos não devem ser vistos na forma hermética com fluxos financeiros previamente calculados, isto posto que a incerteza do ambiente afeta as previsões futuras, sendo que novas informações podem resultar em alterações significativas nos cenários pré-concebidos.

2.2 O Cerne das Opções Reais

Apesar das opções reais não terem a mesma penetração nas empresas que o VPL, os conceitos que acercam as possibilidades de investimentos a partir de uma opção real se executam há um horizonte de tempo significativamente grande. Mesmo que instintivamente, os gestores de investimentos nunca deixaram de considerar que, em projetos que de toda outra maneira sejam idênticos, aquele com flexibilidade de execução é preferível ao que seja inflexível.

Não obstante, a forma atual nas finanças corporativas de se entender as opções reais é consideravelmente recente, e teve origem a partir do modelo de precificação do Black e Scholes de 1973, complementada por Merton ainda em 1973. Em 1975, William Sharpe teceu os primeiros comentários quanto à possibilidade de uma abordagem binomial para o cálculo do valor de uma opção. Essa abordagem foi efetivamente usada por Cox, Ross e Rubinstein (1979), cujo modelo das treliças binomiais usa matemática mais simples e aplicável a opções americanas (que podem ser exercidas a qualquer tempo). Pelo modelo binomial, a cada período no tempo há somente dois estados possíveis – positivo ou negativo. Seu valor pode ser calculado utilizando-se árvores de decisão e permite mais flexibilidade à análise, expandindo significativamente o leque de situações nas quais o valor de opções pode ser calculado.

Copeland e Antikarov (2001) afirmam que o valor presente líquido dos fluxos de caixa de um projeto, sem considerar sua flexibilidade, seria o melhor estimador do valor de mercado deste projeto. A sua contribuição fundamental foi apresentar um modelo que pode ser utilizado em um contexto gerencial-administrativo, por gerentes que não têm necessariamente a sofisticação necessária para aplicar com segurança os modelos como os de Black-Scholes-Merton e de Cox, Ross e Rubinstein.

Outra característica peculiar das opções reais foi bem capturada por Damodaran (2008). Ao tratar do tema, ele destaca que a Teoria das Opções Reais é a única metodologia que dá preponderância para o potencial positivo do risco. De fato, o *valuation* via opções reais indica que o aumento da incerteza pode eventualmente ser uma fonte de valor para o projeto, em particular para aqueles que estejam atentos e bem-posicionados para tal.

Mais atualmente, diversos autores têm aplicado a Teoria das Opções Reais aos temas mais variados. Assim como se propõe o presente estudo, Evans e Guthrie (2014), escrevendo na Nova Zelândia, tratam da opção de postergar a venda que é inerente ao investimento na armazenagem de grãos. Argumentam eles que o valor do grão em estocagem é maior do que o valor do grão no mercado, pois aquele tem embutido o valor da espera por um momento melhor de venda.

Haugh (2016) oferece dois exemplos interessantes para este trabalho, referentes a opções que se renovam. Em um caso de um arrendamento de uma mina de ouro, por exemplo, o arrendatário pode ter um direito a uma extração anual de ouro. Caso o execute ou não, esta opção se renova no ano seguinte. A instalação de uma mina dá ao investidor o direito de, a cada período de tempo, extrair ou não uma quantidade de ouro. Este investimento possui não uma, mas uma série de opções reais embutidas.

No Brasil, um dos principais autores a se dedicar sobre o tema é Brandão, L. E. T., com diversos artigos publicados em conjunto com outros autores. Brandão, Bastian-Pinto, Gomes e Salgado (2012) listam alguns projetos com aplicabilidade próxima da realidade brasileira, como os de mineração, petróleo e *commodities*, nos quais, segundo os autores, a utilização de opções reais para avaliação de investimentos já é uma prática consolidada.

2.3 As Opções Reais e os Tradicionais Métodos Financeiros

A incerteza sobre o comportamento futuro do mercado e do desenvolvimento do próprio projeto justifica com maior destaque as opções reais perante os métodos tradicionais de análise de projetos:

“As principais críticas ao modelo tradicional [VPL] são ser ele rígido e inflexível. Em um ambiente de incerteza, o modelo considera por exemplo o resultado esperado, que via de regra pode ser a média ponderada entre diversos possíveis resultados. Entretanto, na realidade, quando existe flexibilidade (opções), o administrador, com as informações que dispõe a cada instante, decide por uma postura (que pode ser o abandono, continuação, interrupção, troca de investimento, etc.) que levará a "um" e apenas "um" dos resultados esperados e não por uma postura média que forneça uma média dos resultados esperados" (Abreu, 2002).

Um bom resumo da relação entre a Teoria das Opções Reais e os demais métodos de avaliação de investimentos foi apresentado por Marques, Bastian-Pinto e Brandão (2020): Para eles, a Teoria das Opções Reais foi desenvolvida para superar as limitações do método de valor presente líquido. Isto ela faz utilizando métodos de precificação de opções financeiras aplicados a decisões reais, o que nos permite capturar o valor existente na flexibilidade gerencial, intrínseco a qualquer projeto sujeito a uma incerteza futura.

3. A VALORIZAÇÃO DE UM INVESTIMENTO EM UM SILO DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS

3.1 Incerteza e flexibilidade no armazenamento de grãos

Na agricultura em geral, a incerteza é uma característica inescapável. No imaginário popular o fazendeiro está muito presente pela suscetibilidade de seu sucesso a fatores como clima e pragas diversas. E não por acaso, com o desenvolvimento do sistema financeiro, muitos instrumentos foram criados que ajudam a mitigar o impacto, para o agricultor, da alta variabilidade no valor de mercado de sua produção (isto é, o preço de venda do grão). As opções financeiras, das quais a teoria de opções reais deriva, são muito usadas especialmente para a proteção do agricultor.

Ocorre que o risco da atividade produtora de grãos não acaba com a colheita. É da natureza de um mercado de *commodities* que haja oscilações severas na produção, de um período para outro, e isto tem impacto na oferta e conseqüentemente nos preços de venda. Gargalos logísticos impedem o escoamento imediato da produção, e a sazonalidade da produção não é coerente com a demanda por grãos (safras acontecem em períodos específicos do ano, porém a demanda é constante). Todos estes fatores estão fora do controle do empresário agrícola, e exigem um esforço de armazenagem que é suprido pela indústria de construção de silos: dados do IBGE para o 1º semestre de 2019 apontam a existência de 5.882 armazéns e silos para produtos a granel no Brasil.

O segundo fator importante para que a utilização da Teoria das Opções Reais seja uma boa alternativa como método de avaliação de investimentos é a flexibilidade deste projeto. Um projeto que por natureza seja rígido, como um contrato de compra e venda simples, não tem uma opção a se precificar e o cálculo de VPL é suficiente para uma boa análise. Porém, quando a complexidade do projeto aumenta, é comum que sejam necessárias decisões intermediárias durante a sua execução. A análise de opções reais mostra que a flexibilidade em um projeto lhe

agrega valor. Evans e Guthrie (2014) precisamente mostraram o valor que um silo agrega ao empreendimento agrícola, valor este que nasce na opção de postergar a venda. O produtor rural que armazena seu grão em silo pode esperar mais um pouco para a venda, e esta flexibilidade tem um valor, capturado pela análise de opções reais. Ao dar o pontapé inicial para a instalação de um equipamento de HVAC em seu silo, o empresário amplia ainda mais a sua flexibilidade. A opção de postergar a venda se amplia, por exemplo, de 6 para 12 meses. Um leque de possibilidades se torna disponível, cada qual contendo um determinado valor econômico, a ser desbloqueado conforme as condições assim o permitam. Ou, também, possibilidades estas que podem ser abandonadas para expirar caso sua realização deixe de ser interessante. É a existência destas possibilidades (*opções*) – que confere um valor adicional a um investimento *vis-à-vis* um outro investimento de natureza igual, mas que seja inflexível.

No caso específico da utilização de um sistema de condicionamento de ar na construção de silos, consegue-se identificar, para os fins deste trabalho, uma *opção de postergar*: o agricultor que armazena o seu grão em um silo, pode optar por postergar a venda até uma data ótima – com um determinado prazo de maturidade, definido pelo tempo de deterioração do grão. Ao instalar um sistema de HVAC em seu silo, o mesmo agricultor pode *optar* por estender o prazo de armazenamento de seu grão, à espera de melhores condições de mercado. O preço de exercício da opção de armazenagem pode ser definido como o preço pelo qual o agricultor venderia seu grão na ausência de climatização, e o prêmio pago pela opção é o preço líquido da instalação – isto é, o preço pago inicialmente, menos o valor residual recebido na liquidação do negócio. É interessante perceber que esta é uma opção que se renova a cada período de safra: o exercício ou o abandono da opção em uma safra não impede que uma nova opção surja na safra seguinte, praticamente sem custo adicional (além do custo de oportunidade do capital investido).

Dentre estas três possibilidades, o presente trabalho pretende ser uma abordagem na mesma linha de Evans e Guthrie (2014). Estes autores perceberam com clareza que a armazenagem de grãos em um silo tem um valor, advindo da opção de postergar a venda. Esta opção é que separa o valor do grão à vista do valor do grão armazenado.

Como visto, o valor da opção é tanto maior quanto maior seja a flexibilidade gerencial. No caso do grão em armazenagem, pode-se aplicar este conceito da seguinte maneira: a estocagem em silo dá ao agricultor a opção (americana) de vender seu grão até n meses depois da colheita. Uma opção com um prazo maior de maturidade, $n + 1$, tem um valor maior porque dá ao agricultor um período adicional para esperar o momento ótimo desenhado por Evans e Guthrie (2014).

Uma instalação de condicionamento de ar, bem projetada, em um silo de armazenagem, tem o condão de expandir significativamente o tempo de armazenagem. Estes equipamentos ajudam a manter a qualidade do grão por mais tempo, expandindo a opção de postergar a venda. A execução desta opção será ótima quando o valor da opção de postergar seja maior do que o total de custos associados. Dito de outra forma, o valor recebido pelo grão deve ser maior do que o prêmio pago pela opção.

O corolário desta afirmação é que o valor de um investimento em uma instalação de silo com HVAC deve necessariamente ser igual ao valor da opção real de postergar a venda, que está

embutida na armazenagem. E dado que a instalação de HVAC é um opcional ao silo “simples”, o seu valor específico deve necessariamente ser a diferença entre o valor da opção de prazo mais curto e o valor da opção de prazo mais longo.

3.2 Três (ou mais) árvores de decisão, utilizando o método das treliças binomiais

Esta última seção do artigo trata do cálculo do valor da opção de postergar a venda do grão armazenado em um silo com instalação de HVAC. O método das treliças binomiais, apresentado na revisão bibliográfica, tem sido uma ferramenta utilizada para o cálculo de opções reais, devido à sua flexibilidade e aplicabilidade para um número variado de projetos.

Este método, binomial, cujo trabalho seminal é o já apresentado Cox, Ross e Rubinstein (1979), é assim chamado porque a cada momento no tempo, se considera somente a possibilidade de dois estados possíveis – positivo ou negativo. Especialmente no âmbito de finanças corporativas, isto é relevante pois permite aos gestores tanto analisar, quanto comunicar suas análises de forma mais eficiente, considerando que a erudição financeira dos diversos administradores de uma empresa é bastante variada.

Copeland e Antikarov (2001), e também Copeland e Tufano (2004), orientam a iniciar a modelagem considerando que o VPL tradicional do projeto (isto é, o valor presente líquido dos fluxos de caixa advindos deste projeto, descontados pela taxa de risco apropriada) é o melhor estimador possível para o valor de mercado de um projeto. A isto chamam de “Market Asset Disclaimer”. Marques *et al* (2020) tratam este valor como V_0 , e o valor do projeto que inclui as opções como V_0^* , de forma que:

$$V_0^* = V_0 + \text{Opção Real} \quad (1)$$

Após calculado o valor inicial V_0 do projeto, o próximo passo, conforme Copeland e Tufano (2004) é estimar quanto este valor pode se movimentar para cima ou para baixo durante cada período. Como explicam Santos, Brandão e Maia (2015), nesse modelo a distribuição das possibilidades é lognormal, uma curva conveniente para a precificação de ativos que não podem apresentar valores negativos, e que permite a inclusão de fluxos de caixa terminais. Em uma distribuição lognormal, um desenvolvimento positivo ou negativo pode ser calculado, multiplicando-se o valor base por um fator, u (de “up”), ou d (de “down”), os quais são dados pelas seguintes fórmulas:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (2) \quad d = \frac{1}{u} \quad (3)$$

Nas quais e é a base do logaritmo natural ($e = 2,7182$), Δt é o movimento temporal, e, criticamente, σ representa o desvio-padrão do valor do ativo subjacente.

Para o caso deste trabalho, o agente de volatilidade a ser considerado é o preço do grão no mercado à vista, o qual oscila de acordo com as condições do próprio grão (isto é, grãos de qualidade melhor têm preço mais alto), e também com o momento de oferta e demanda pontual, por sua vez influenciado por diversos fatores, como o clima ou o surgimento de pragas diversas.

Uma vez estimada a volatilidade do projeto a partir de suas incertezas, deve-se inserir os fluxos de caixa do projeto na treliça binomial, utilizando as fórmulas (2) e (3). O resultado é uma treliça binomial que inclui todos os resultados possíveis, positivos e negativos.

Marques *et al* (2020) comentam que na treliça existem n períodos, onde pode haver opções, as quais podem ou não ser executadas. O valor do ativo subjacente a cada momento n pode ser denotado por S_n . Quando se executa a opção, S_n se transforma em S'_n . A decisão de executar ou não a opção em cada determinado momento se dá pela escolha do maior valor, maximizando o valor daquele nó de decisão.

No projeto de investimento em um silo de armazenagem com sistema de condicionamento de ar, os nós de decisão que nos interessam são as decisões intermediárias de postergar a venda, até que o termo de maturidade aconteça (isto é, o prazo máximo de armazenagem do grão em condições ideais sem que este se deteriore a ponto de perder seu valor).

Para se chegar ao valor final da árvore de decisão, é necessário partir do cálculo do valor de cada possibilidade presente no último período, e executar gradativamente o processo de maximização a cada nó de decisão, levando em conta a probabilidade de cada estado d ou u e o desconto de seu valor até o momento presente. Segundo Marques *et al* (2020), a probabilidade p do estado u é dada por:

$$p = \frac{(1 + r)^{\Delta t} - d}{u - d} \quad (4)$$

A simulação de volatilidade e do valor presente V_0 do projeto, assim como o desenho da árvore binomial, e o subsequente cálculo dos valores das opções de postergar elencadas acima, serão o foco da modelagem a seguir.

4. MODELAGEM FINANCEIRA

Para os fins do presente estudo, selecionou-se o grão de milho como base para os cálculos de retorno. O milho, devido à sua importância no agronegócio brasileiro, é utilizado como referência para um grande número de instituições e pesquisas acadêmicas, e por isso a disponibilidade de dados é boa. Os preços históricos de mercado foram extraídos da base de dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), da Universidade de São Paulo (USP), e divulgados no sítio <https://www.cepea.esalq.usp.br/br>. Os custos de produção são calculados e divulgados pela iniciativa Projeto Campo Futuro, projeto conjunto da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) e do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), com base em metodologia desenvolvida por Matsunaga *et al* (1976) – a qual por sua vez também foi desenhada a partir do cultivo do milho. O Projeto Campo Futuro também divulga os dados mais recentes de custos de produção rural em seu sítio na internet, <https://www.cnabrazil.org.br/paginas-especiais/campo-futuro>, enquanto a série histórica dos mesmos foi gentilmente cedida pelo CNA/SENAR especificamente para utilização neste trabalho. Os dados técnicos relativos ao processo de secagem de grãos e seu tratamento estão disponíveis no portal AGAIS – Armazenagem de Grãos, Agroindústria e Simulação – www.agais.com, mantido pelo Prof. Dr. Luís César da Silva, da Universidade Federal de Viçosa (MG).

Conforme visto acima, o primeiro passo para se iniciar a simulação do valor de uma opção real é o cálculo do V_0 , isto é, o valor presente líquido da produção de milho, *sem* a introdução da opção atrelada ao sistema de HVAC. Para este fim, inicia-se com os fluxos de caixa positivos do projeto: a receita do agricultor com a venda de sua produção. Foi extraída da base de dados do CEPEA/USP a série histórica mensal dos preços de comercialização do milho, por saca de 60kg – tomando como período inicial o mês de janeiro de 2011. Em seguida esta série foi atualizada para valores constantes de maio/2021, utilizando como referência o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA, divulgado pelo IBGE. Com estes dados também é possível calcular a média do valor de venda e o desvio-padrão de sua variação mensal, tanto em valores absolutos quanto percentuais. Estes dados serão em seguida utilizados para o cálculo dos fatores d e u , e para a montagem da primeira árvore de decisão. Um resumo do cálculo é apresentado nas tabelas 1 e 2, abaixo.

Data	À vista R\$	IPCA - Índice	IPCA - %	Base Maio 2021	Varição mensal
01/2011	30.35	3222.42	76.6%	53.61	
02/2011	31.68	3248.20	75.2%	55.52	3.6%
.
.
03/2021	91.51	5674.72	0.3%	91.79	8.1%
04/2021	97.15	5692.31	0.0%	97.15	5.8%
05/2021	100.75	5692.31	0.0%	100.75	3.7%

Tabela 1 – Milho | INDICADOR DO MILHO ESALQ/BM&FBOVESPA

Fonte: Cepea/USP

Média	Desvio-Padrão	D-P da variação %
47.64	13.03	7.26%

Tabela 2 – Média e desvio-padrão

Utilizando-se as fórmulas 5 e 6, aplicando $\Delta t = 1$ mês e o desvio-padrão de 7,26% ao mês, chega-se aos fatores de 1,075 para u e 0,93 para d . Em seguida calcula-se a probabilidade de cada estado, de acordo com a equação 7. Para uma taxa de retorno atribuída de 6% ao ano (0,49% ao mês), a probabilidade de u é 51,5% e de d , consequentemente, 48,5%. Isto significa que, a cada período de um mês, há uma probabilidade de 51,5% de que o preço da saca de milho de 60 kg tenha seu valor aumentado em 1,075 vezes – ou, alternativamente, 48,5% de chance de que seu valor seja reduzido para 0,93 vezes o valor original. Nossa primeira treliça binomial, portanto, ainda antes de aplicarmos os custos de produção, tem o seguinte formato (valores referentes a 1000 sacas de 60 kg, em R\$ constantes de maio de 2021):

								73,656
								68,496
							63,698	59,236
						59,236	55,087	51,228
						55,087	47,640	44,303
						51,228	41,199	38,313
						47,640	35,630	33,134
R\$/1000 sacas	47,640	44,303	41,199	38,313	35,630	33,134	30,813	
Meses	0	1	2	3	4	5	6	

Imagem 1 – Receitas totais

É importante perceber que a treliça se interrompe após o sexto mês. Para os fins deste trabalho, assumimos este tempo como o prazo máximo para a comercialização do grão de milho, antes que ele se deteriore a ponto de impedir a venda. Deterioração esta que inclusive pode ser acelerada caso as condições de armazenagem ou as condições externas sejam particularmente ruins.

O Projeto Campo Futuro, acima mencionado, calcula o custo operacional efetivo (COE) para a produção de cada saca de milho, considerando uma gama abrangente de itens (mão de obra, mecanização, insumos, tributos, energia elétrica, custos administrativos e de manutenção, etc.), anualmente em diversas praças produtoras de milho. Os dados disponíveis representam 40 diferentes municípios brasileiros, e foram compilados no período 2011-2020. Um excerto da base de dados pode ser visto na tabela 3.

Atividade Agropecuária	Safra	UF	Região	Produtividade (Sc)	COE (R\$/ha)
Milho (1ª Safra)	2011/2012	MA	Balsas	120.0	R\$ 1,759.95
Milho (1ª Safra)	2011/2012	PI	Uruçuí	135.0	R\$ 1,830.50
Milho (1ª Safra)	2011/2012	GO	Cristalina	150.0	R\$ 2,180.46
Milho (1ª Safra)	2011/2012	GO	Mineiros	175.0	R\$ 2,052.93

Tabela 3 – Projeto Campo Futuro - CNA/Senar - Dados referentes a custo e receita por hectare das últimas safras regionalizados

O COE por saca pode, portanto, ser calculado dividindo-se as duas últimas colunas. Os valores foram todos atualizados para maio de 2021, assim como os valores médios de receita, chegando-se a um custo médio corrigido de produção de R\$ 33,05 por saca de milho no período. Este custo deve em seguida ser retirado dos valores da treliça constante da imagem 1, para se obter o resultado líquido da venda de milho a cada período, no intervalo de 6 meses.

							40,601
						35,442	30,644
				30,644	26,182	22,032	14,585
			26,182	22,032	18,173	11,248	8,145
		22,032	18,173	14,585	11,248	5,259	2,575
	18,173	14,585	11,248	8,145	5,259	79	(2,242)
R\$/1000 sacas	14,585	11,248	8,145	5,259	2,575	79	(2,242)
Meses	0	1	2	3	4	5	6

Imagem 2 – Resultado da produção, líquido de custos operacionais

Note-se que a treliça acima representa os possíveis valores para mil sacas a cada momento no tempo. Isto é, em t_6 o melhor valor esperado para nosso milho seria de R\$ 73.656 (-) R\$ 33.055 (=) R\$ 40.601, e o pior valor esperado seria, analogamente, um prejuízo de R\$ 2.242. O agricultor pode, é claro, realizar a venda imediatamente após a produção, com um resultado de R\$ 14.585, ou postergar a venda esperando uma possível melhor condição, desde que invista no armazenamento da produção. Como demonstrado por Evans e Guthrie (2014), qualquer grão armazenado tem a opção de postergar já embutida, e por isso tem um valor esperado maior do que o grão que precisa ser vendido imediatamente.

O valor V_0^* da treliça da imagem 2 deve ser calculado como ensina Haugh (2016). Partindo-se do valor final em $t + 1$, e calculando o valor em t pela média ponderada das duas probabilidades (51,5% e 48,5%, como vimos acima), descontados em um mês pela taxa de retorno atribuída (6%a.a., ou 0,49% a.m.). Na imagem 3, abaixo, veja-se que o valor em t_5 passa a ser $(51,5\% * 40.601 + 48,5\% * 30.644) / (1,0049)$, ou R\$ 35.602.

							40,601
						35,602	30,644
				30,963	26,342	22,032	14,585
			26,660	22,352	18,334	11,408	8,145
		22,668	18,651	14,904	11,408	5,419	2,575
	18,966	15,221	11,726	8,464	5,419	239	(2,242)
R\$/1000 sacas	15,534	12,041	8,780	5,737	2,894	239	(2,242)
Meses	0	1	2	3	4	5	6

Imagem 3 – Valor presente líquido da treliça com opção de postergar

Repetindo-se sucessivamente o processo, temos um valor presente líquido para esta produção de R\$ 15.534. Veja-se também que a diferença entre a treliça da imagem 3 e a da imagem 2 reflete precisamente a opção que o agricultor tem de não efetuar a venda do grão em t_0 , de forma que a opção real de postergar a venda, de acordo com a equação (1), é de R\$ 15.534 (-) R\$ 14.585 (=) R\$ 949 (para cada mil sacas de milho).

Agora suponhamos que uma instalação de secagem de grãos, utilizando técnicas modernas de HVAC, seja capaz de postergar por outros 6 meses a vida útil do milho. O agricultor teria,

Ainda por desenvolver, no âmbito deste trabalho, estão algumas complexidades do mercado de grãos, sua produção e armazenagem. Assim, em uma versão futura, pretende-se incorporar elementos como: custos indiretos de produção (por exemplo, depreciação de máquinas e equipamentos ou pró-labore do agricultor); condições extremas de armazenagem do grão, as quais possam acelerar ainda mais sua degradação; ritmo normal de degradação em condições normais de armazenagem; relacionamento comercial entre o agricultor e o proprietário do silo de armazenagem, quando porventura se tratar de pessoas distintas entre si.

REFERÊNCIAS

- Brandão, L. E. T., Bastian-Pinto, C. L., Gomes, L. L., Salgado, M. S. Incentivos governamentais em PPP: Uma análise por opções reais. *REA – Revista de Administração de Empresas da FGV*, vol. 52, n. 1, pp. 10-23, 2012
- Copeland T., Antikarov V. *Opções Reais - Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos*. Rio de Janeiro: Campus, 2001
- Copeland, T. E Tufano, P. A real world way to manage real options. *Harvard Business Review*, ed. Março/2004, pp. 1-13, 2004
- Cox, J. C., Ross, S. A. E Rubinstein, M. Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*, vol. 7, pp. 229-263, 1979
- Damodaran, A. *Strategic risk taking: A framework for risk management*. Ch. 8, Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2008
- Evans, L. E Guthrie, G. *Commodity prices and the option value of storage*. Disponível em <https://ssrn.com/abstract=1003751>, Victoria University of Wellington, New Zealand, 2014
- Haugh, M. *Course packet for IEOR E4706: Foundations of financial engineering*. Courses offered at Columbia University, New York, NY, 2016
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (IBGE). *Contas nacionais trimestrais*. IBGE, 4º. Trimestre 2020. Disponível em https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2121/cnt_2020_4tri.pdf
- Kessinger, J. Adding the value of active management into capital budgeting equation. *Midland Corporate Finance Journal*, Amsterdam, v. 5, n.1, p. 31-42, 1987
- Marques, N. L., Bastian-Pinto, C. L. E Brandão, L. E. T. A tutorial for modeling real options lattices from project cash flows. *Revista de Administração Contemporânea*, vol. 25, n. 1, 2020
- Matsunaga, M., Bemelmans, P. F., Toledo, P. E. N., Dullely, R. D., Okawa, H., E Pedroso, I. A. *Metodologia de custo de produção adotada pelo IEA. Agricultura em São Paulo – Boletim Técnico do Instituto de Economia Agrícola*, tomo 1, ano 23, pp. 123-139, 1976
- Santos, M. S. C., Brandão, L. E. T. E Maia, V. M. Decisão de escolha de carreira no Brasil: uma abordagem por opções reais. *Revista de Administração da USP*, vol. 50, n. 2, pp. 141-152, 2015
- Vanderlei, Luiz O. De O.; Carmona, Charles U. De M. A teoria das opções reais como ferramental para avaliação de projetos de investimentos sob incertezas. *Revista de Ciências Administrativas*, Vol. 14, n.1, pp. 122-139, 2008