

Derivativos climáticos na agricultura

Uma revisão de literatura¹

Gian Lucca Raucci²
Daniel Henrique Dario Capitani³
Rodrigo Lanna Franco da Silveira⁴

Resumo – A atividade agropecuária está exposta a uma série de riscos, e os relativos aos preços e à produção são o mais proeminentes. As oscilações das cotações e a forte dependência do clima e de aspectos biológicos impactam diretamente a receita do produtor, apontando para necessidade do uso de instrumentos de gestão capazes de minimizar seus efeitos. Este estudo faz uma revisão de literatura sobre os contratos de derivativos climáticos, buscando entender suas características e mecânica operacional, além de fornecer um panorama das pesquisas até aqui realizadas a esse respeito. Os estudos, considerando localidades com regimes edafoclimáticos distintos, apontam para uma significativa eficácia desses contratos na gestão de risco de produção na atividade agropecuária. Além disso, verifica-se que problemas de risco moral e seleção adversa, comuns de serem verificados nos contratos tradicionais de seguro agrícola, são praticamente eliminados com o uso de tais derivativos. Entende-se, portanto, que essas ferramentas podem ser úteis tanto a produtores e demais agentes ligados às cadeias produtivas, para o gerenciamento do risco de produção, quanto às seguradoras e ao governo, em questões que se referem, respectivamente, ao desenho de produtos e ao direcionamento da política de gestão de riscos no agronegócio.

Palavras-chave: gestão de risco, risco de produção, seguro agrícola.

Weather derivatives in agriculture: a review of literature

Abstract – Agricultural activity is exposed to a number of risks, including especially price and production risks. Price volatility and strong dependence on climate and biological aspects directly impact the producer's revenue, which indicate the importance of using management tools to reduce these exposures. The purpose of this paper is to report the state of the art of climate derivatives, seeking to understand its characteristics and operationalization, along with providing an overview of previous studies that evaluated the use of these instruments in agricultural activity. Previous studies, which consider different locations with distinct edaphoclimatic conditions, have shown relevant effectiveness of these instruments to manage production risk in agricultural activity. In addition, problems of moral hazard and adverse selection, so common in agricultural insurance contracts, are virtually eliminated with the use of such derivatives. Overall, the analysis indicates that the weather derivatives can be useful both to farmers and supply chain stakeholders in risk management

¹ Original recebido em 9/3/2020 e aprovado em 25/5/2020.

² Mestre em Teoria Econômica. E-mail: gian.raucci@gmail.com

³ Professor doutor da Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas (FCA/Unicamp). E-mail: danieldc@unicamp.br

⁴ Professor associado do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas (IE/Unicamp). E-mail: rlanna@unicamp.br

strategies, as well as to insurers and the government in issues related to product development and the agricultural risk management policy, respectively.

Keywords: risk management, production risk, agricultural insurance.

Introdução

Instrumentos para gestão de risco de preço e de produção têm surgido nas últimas décadas com o intuito de oferecer aos agentes de atividades produtivas proteção contra oscilações de renda. Com início das transações no fim da década de 1990 e início da de 2000, nos EUA, os derivativos climáticos são um exemplo desses instrumentos. Esses contratos têm sido especialmente usados pelo setor elétrico para proteção contra variações de temperatura (Weagley, 2014). Recentemente, outros riscos climáticos também vêm sendo gerenciados com o uso de derivativos baseados na pluviosidade, quantidade de neve, vento, geada e furacão, entre outros, atraindo a atenção de diversos setores da economia, como agricultura, entretenimento, turismo, construção e varejo (Jewson & Brix, 2005).

Na atividade agrícola, observa-se que os derivativos de pluviosidade possuem papel semelhante ao desempenhado pelos seguros de produção. No entanto, a vantagem deles sobre os seguros agrícolas tradicionais tem base em sua estrutura de pagamento, que depende exclusivamente da ocorrência de um evento meteorológico específico, que é mensurado por um indicador predeterminado. Apesar de haver, em geral, alta correlação entre eventos meteorológicos e produtividade agrícola, o resultado do derivativo climático independe da safra obtida pelo produtor. Conseqüentemente, problemas de risco moral e seleção adversa, que surgem da assimetria da informação e são inerentes aos seguros de produção agrícolas tradicionais, são eliminados (Turvey, 2001; Vedenov & Barnett, 2004; World Bank, 2005; Zhou et al., 2018).

Além disso, os contratos climáticos tem potencial para complementar os instrumentos de seguro rural, já que permitem ao produtor se precaver das incertezas climáticas, sem necessariamente dispendir o montante financeiro do

prêmio do seguro (Woodard & Garcia, 2008; Shi & Jiang, 2016). O derivativo em questão pode auxiliar também num melhor direcionamento dos instrumentos de política agrícola para a gestão de risco, pois implica uma nova dinâmica de interação entre os agentes, como produtores, agroindústrias, seguradoras, governo e outros interessados (Leblois & Quirion, 2013).

Recentemente, muitos estudos avaliaram o uso dos derivativos de clima como instrumentos de gestão de risco na agricultura (Musshoff et al. 2011; Khan et al., 2013; Pelka & Musshoff, 2013). Porém, as análises para a atividade agrícola brasileira são escassas, apesar do significativo potencial de uso. Nesse contexto, Leblois & Quirion (2013) apontam algumas barreiras que ainda restringem a adoção dos derivativos climáticos, em geral ligadas a duas dificuldades: ao delineamento de um contrato com referência em eventos climáticos incertos; e à compreensão da ferramenta pelos produtores. Além disso, o risco de base, dado pela correlação imperfeita entre a produtividade agrícola e o índice meteorológico utilizado, também é apontado como elemento que restringe a atratividade desse instrumento por potenciais *hedgers*.

Este estudo faz uma revisão de literatura a respeito dos contratos de derivativos climáticos, buscando entender suas características e mecânica operacional. Além disso, fornece um panorama dos estudos até aqui realizados sobre esses instrumentos no gerenciamento de riscos da atividade agrícola, avaliando também as vantagens de seu uso diante dos seguros de produção tradicionais.

Metodologia

A metodologia desta pesquisa é baseada em uma revisão de literatura dos trabalhos que criaram ou aprimoraram modelos de gestão de

risco de produção agropecuária, avaliando a questão da viabilidade do uso de contratos climáticos em diferentes mercados.

Segundo Gil (2008), o intuito do método exploratório é proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou construir hipóteses. De acordo com Prodanov & Freitas (2013), a pesquisa exploratória auxilia na investigação do assunto central, possibilitando melhor definição e delineamento do objeto de pesquisa. Gil (2008) complementa observando que tais análises assumem, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso, permitindo assim o estudo do tema sob vertentes e aspectos distintos.

Ainda, quanto aos procedimentos, trata-se de uma pesquisa bibliográfica com base no levantamento de referências teóricas dentro do tema de estudo dos derivativos climáticos. Para Gil (2008), uma pesquisa bibliográfica propõe a análise de diversas posições acerca de um problema.

Embora muitas pesquisas recentes sugiram que o levantamento bibliográfico siga métodos preestabelecidos, como os estabelecidos por Ensslin et al. (2013), neste estudo optou-se por não limitar a busca por palavras-chave predefinidas nem para períodos preestabelecidos.

Inicialmente, fez-se a busca por estudos pioneiros sobre derivativos climáticos, que se destacavam pelo número de citações. Nessa etapa, não se delimitou um filtro específico, pois o propósito foi interpretar as proposições metodológicas dos estudos e o objeto de sua aplicação, quando se tratavam de estudos empíricos. Na sequência, a busca passou a ser delimitada para estudos aplicados ao entendimento da dinâmica de setores ligados ao agronegócio, que buscaram compreender o uso de derivativos climáticos, independentemente do mercado em análise.

Nessa etapa, os estudos foram separados em diferentes temáticas, como questões asso-

ciadas ao uso dos contratos; aspectos relativos à precificação dos derivativos; e efetividade e risco de base das operações com esses instrumentos. Além disso, é importante frisar que depois da análise geral (sem limitação de datas), foi feita uma busca adicional limitando-se ao período mais recente, de 2014 a 2019, de forma a priorizar estudos que trouxeram contribuições inovadoras, sobretudo na abordagem metodológica adotada.

Contratos de derivativos climáticos

Um contrato de derivativo é um instrumento financeiro cujo valor está atrelado ou referenciado a um ativo-objeto. Sua função econômica principal é garantir proteção contra o risco de preço do ativo, permitindo a realização das conhecidas operações de *hedge*, em que o agente fixa, no instante atual, o preço de compra ou de venda do bem em questão em uma transação que será liquidada no futuro (Hull, 2008; Bessada et al., 2013).

De acordo com FIA (2019), aproximadamente 34,5 bilhões de contratos de derivativos foram negociados em bolsas em 2019, o que significa crescimento médio anual em torno de 5%, considerados os últimos dez anos. São destaques os derivativos sobre índices de ações, que responderam por 36% do volume total negociado em 2019, seguidos por contratos futuros e de opções sobre ações individuais (18%), taxa de juros (14%), moedas (11%), energia (7%), metais não preciosos (4%) e commodities agrícolas (5%). Dados do Bank for International Settlements (BIS) (2019) apontam, ainda, que o valor nominal (em termos nominais) dos contratos negociados em balcão (*swaps*, termo e opções) nas instituições financeiras pesquisadas⁵ cresceu aproximadamente 15% a.a. em 1999–2018, chegando a US\$ 595 trilhões.

Além de a negociação desses contratos ser crescente, as inovações financeiras nesses mer-

⁵ Conforme BIS (2017), participam da pesquisa bancos centrais e instituições financeiras dos seguintes países: Austrália, Bélgica, Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão, Holanda, Espanha, Suíça, Suécia, Estados Unidos e Reino Unido.

cados são significativas. Novos instrumentos têm sido desenvolvidos para suprir as necessidades específicas de agentes com posições cada vez mais dinâmicas e globais, possibilitando operações capazes de melhor mitigação de riscos de preço (de ativos financeiros, commodities e energia), de crédito e de clima, entre outros (Labuszewski et al., 2010).

Incluem-se, nesse quadro de inovações financeiras e novos instrumentos de gestão de risco, os denominados derivativos climáticos. Atrelados ao mercado de energia e pertencentes a um grupo de contratos conhecido como derivativos exóticos, esses papéis começaram a ser transacionados no fim da década de 1990 e início da de 2000 nos EUA. O primeiro derivativo climático negociado nos moldes modernos foi transacionado entre a Aquilla Energy e a ConEdison Company. A operação foi estruturada para que a Aquilla Energy vendesse energia elétrica com desconto para a ConEdison Company caso as temperaturas de agosto de 1996 fossem mais baixas que as esperadas (Weagley, 2014). O ativo subjacente a tais contratos consistiu, originalmente, nas temperaturas de regiões norte-americanas, proporcionando um meio de mitigar o risco de variabilidade no preço da energia elétrica, decorrente de mudanças em seus níveis de consumo (Labuszewski et al., 2010). Na sequência, outros derivativos climáticos baseados em índices meteorológicos, associados aos níveis de chuva, neve e vento, entre outros, têm sido desenvolvidos.

Dados da Weather Risk Management Association (WRMA) (2011), para 2010–2011, mostram o tamanho do mercado dos derivativos de clima e os principais produtos negociados pelos agentes. O valor negociado no mercado de balcão – *over-the-counter* (OTC) – chegou à marca de US\$ 2,45 bilhões, sendo o valor médio igual a US\$ 1,98 milhão para os contratos de verão e US\$ 2,65 milhões para os de inverno. No mercado de bolsa, aqui representado pelos contratos negociados na Chicago Mercantile

Exchange (CME)⁶, o valor foi de US\$ 9,38 bilhões, sendo negociados 466 mil contratos no período. Os instrumentos mais negociados possuem como ativo-objeto a temperatura, chegando a quase 70% dos contratos negociados no mercado de balcão e próximo da totalidade dos contratos transacionados em bolsa. Derivativos baseados em precipitação possuem participação próxima de 20% no mercado de balcão. Grande parte dos contratos OTC é negociada na Europa (EUA), respondendo por algo em torno de 60% (25%) das operações. Já no mercado de bolsa, mais de 90% dos contratos são transacionados nos EUA.

Uma importante contribuição dos derivativos climáticos, de acordo com Purnanandam & Weagley (2016), foi o incremento de até 20% na acurácia da medição da temperatura em estações climatológicas. O estudo aponta também que a existência desses tipos de contrato motiva os órgãos públicos a investirem em instrumentos de redução do erro de previsão, já que sua negociação no mercado financeiro pode potencializar a eficiência do próprio governo na gestão de sua política agrícola.

Um contrato de derivativo climático padrão possui os seguintes atributos: periodicidade (data de início e de encerramento da operação), estação de medida, variável climática (medida pelo período de duração do contrato), índice (*proxy* da variável climática que o contrato busca acompanhar), função de *payoff* e, para algumas estruturas contratuais, prêmio (pago pelo contratante no início da operação). O valor desses papéis varia conforme a ocorrência de eventos climáticos, como flutuações de temperatura, volume de chuvas e quantidade de neve, geadas e granizo (Jewson & Brix, 2005). Diferentemente dos contratos de derivativos tradicionais, o derivativo climático não possui ativo-objeto transacionável no mercado, como ações, moedas ou commodities.

⁶ Contratos futuros e de opções climáticas, baseados na temperatura de dez cidades (oito norte-americanas e duas europeias), são negociados na CME. Grande parte do interesse nesse mercado é de empresas do setor de energia, seguidas das de construção e agrícola (WRMA, 2011).

Contratos a termo e futuros climáticos

Os contratos a termo e futuros climáticos podem apresentar duas estruturas principais de *payoff*, com ou sem limite financeiro. Com base na ótica de um agente com a posição comprada (*long*), o resultado desses derivativos, na modalidade sem limitação financeira, pode ser expresso por

$$PO(x) = D(x - K) \quad (1)$$

em que *PO* representa o *payoff* do contrato, *D* é o valor monetário estabelecido para cada unidade do índice climático (seu ativo-objeto), *x* é o valor do índice para o período do contrato, e *K* é o *strike* da operação⁷. Nota-se, assim, que um agente comprado (vendido) nessa operação está se segurando contra aumento (queda) do índice climático. No caso de o risco de alta (queda) do índice se efetivar, o agente comprado em contratos terá ganhos (perdas), sendo o resultado inverso quando se considera uma posição vendida.

Ao considerar uma limitação financeira, o contrato inclui limites máximo e mínimo aos resultados monetários (L_s), de acordo com barreiras previamente fixadas para o índice ativo-objeto do contrato: superior (L_1) e inferior (L_2) (Jewson & Brix, 2005).

$$PO(x) = \begin{cases} -L_s & \text{se } x < L_2 \\ D(x - K) & \text{se } L_1 \leq x \leq L_2 \\ L_s & \text{se } x > L_2 \end{cases} \quad (2)$$

De forma geral, nenhuma das operações possui custo para o agente na contratação, ou seja, não possuem o pagamento de prêmio no início do contrato, apesar de normalmente exigirem depósito de margem de garantia. Vale ainda notar que operações realizadas em ambiente de balcão apresentam, em geral, liquidação apenas no fim do contrato. Já os contratos realizados

dentro do ambiente de bolsa exibem ajustes diários das posições.

Os contratos a termo e futuros climáticos de maior negociação são os derivativos de temperatura. Em termos gerais, o uso desses papéis é decorrente da relação do uso de energia com as oscilações térmicas. Em dias mais frios, o uso de equipamentos de aquecimento sobe e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica se eleva. Situação semelhante ocorre para os dias mais quentes, em que o uso de ar-condicionado cresce, elevando o consumo de energia (Weagley, 2014). Ambos os índices capturam a variação da temperatura diária de um local durante um período determinado.

De forma geral, é mensal a periodicidade desses contratos, com o resultado financeiro da operação atrelado ao valor obtido pelo índice. As equações

$$HDD_{im} = \sum_{t=1}^{T_m} \max\{65 - Temp_{it}, 0\} \quad (3)$$

$$CDD_{im} = \sum_{t=1}^{T_m} \max\{Temp_{it} - 65, 0\} \quad (4)$$

forneem os índices de aquecimento e de resfriamento – *Heating Degree Day* (HDD) e *Cooling Degree Day* (CDD) –, respectivamente, considerando uma cidade norte-americana *i* no mês *m* (Labuszewski et al., 2010; Weagley, 2014; Yuan et al., 2015; Hess, 2018); T_m é o número de dias do mês *m*; e $Temp_{it}$ é a média entre as temperaturas mínima e máxima para a locação *i* no dia *t* (em graus Fahrenheit). Como exemplo, se num dia as temperaturas mínima e máxima são de 50° F e 60° F, respectivamente, obtém-se $Temp = 55^\circ$ F, levando a $HDD = 10$ e $CDD = 0$.

Nota-se que o *payoff* desses contratos também dependerá do valor monetário negociado para cada unidade do índice, de forma que

⁷ No caso de uma opção climática, o *strike* refere-se a um limiar delimitado abaixo (ou acima) da condição climática especificada no contrato (por exemplo, temperatura e pluviosidade), em que a indenização é (ou não) acionada. Por exemplo, em um contrato de pluviosidade, o *strike* poderia ser definido com base numa determinada quantidade mínima (ou máxima) de precipitação predeterminada.

quanto maior for seu valor, maior será o resultado da operação.

Esses contratos podem ser utilizados, por exemplo, por um produtor de trigo que queira se proteger de um inverno rigoroso. Para isso, é possível adquirir um contrato futuro baseado em *HDD*. Caso as temperaturas durante a vigência da operação forem menores que 65° F, o índice *HDD* sobe, levando a ganhos com os derivativos. Eles compensarão as perdas decorrentes da baixa produtividade no campo causada pela queda das temperaturas (Jones, 2007).

Opções climáticas

Opções de compra (*calls*) e opções de venda (*puts*) de clima são negociadas nos mercados de bolsa e de balcão. Em geral, possuem modalidade europeia, ou seja, o exercício do direito de comprar ou vender só pode ser realizado no vencimento do contrato. Com relação ao mecanismo de indenização, os contratos são estruturados de forma semelhante aos contratos a termo e futuros, em que cada unidade do índice possui um valor monetário. As equações

$$Call(x): PO = \begin{cases} D(x - K) & \text{se } x > K \\ 0 & \text{se } x \leq K \end{cases} \quad (5)$$

$$Put(x): PO = \begin{cases} 0 & \text{se } x \geq K \\ D(K - x) & \text{se } x < K \end{cases} \quad (6)$$

exibem as estruturas de *payoff* das opções de compra e venda, respectivamente, em que x é o

índice escolhido como ativo-objeto do contrato; K é o *strike*; e D é o valor monetário do índice. Para a *call* (*put*), o *strike* é usualmente definido entre zero e um desvio padrão acima (abaixo) do valor esperado para o índice (Jewson & Brix, 2005). O valor total do ganho nesses contratos é o resultado obtido no *payoff* menos o valor do prêmio pago na contratação da operação (Jewson & Brix, 2005).

Na aquisição de uma *call* (*put*), o agente está em busca de proteção contra possíveis aumentos (quedas) do índice utilizado no contrato. Nesses contratos, o comprador da *call* possui, teoricamente, potencial ilimitado de lucro no *upside*, enquanto no *downside* arrisca apenas o prêmio pago na contratação da operação (Jones, 2007). Já na aquisição de uma *put*, os *payoffs* apresentam, em geral, valores limites. Isso decorre do fato de muitas das variáveis climáticas, como pluviosidade, volume de neve e vento, não possuírem valores negativos. A Figura 1 mostra o resultado do *payoff* decorrente de variações do valor do índice para cada contrato pela ótica do comprador (titular da opção de venda ou compra).

Para as opções, existe também a possibilidade de serem estruturadas com limite financeiro ao *payoff*. Esses contratos podem ser tanto *calls* quanto *puts* e são muito semelhantes aos apresentados na seção anterior. Porém, aqui o limite atua em apenas um dos lados da distribuição:

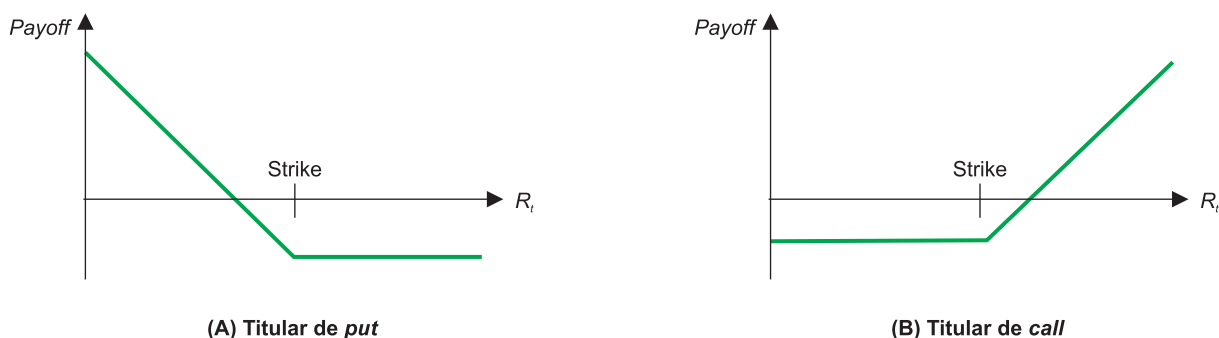


Figura 1. *Payoffs* no mercado de opções para uma opção de venda (*put*) e compra (*call*).

$$Call(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < K \\ D(x - K) & \text{se } K \leq x \leq L \\ L_s & \text{se } x > L \end{cases} \quad (7)$$

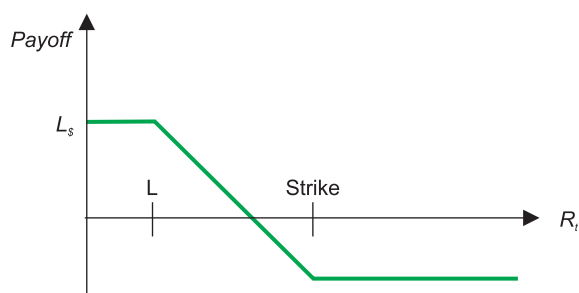
$$Put(x) = \begin{cases} L_s & \text{se } x < L \\ D(x - K) & \text{se } L \leq x \leq K \\ 0 & \text{se } x > K \end{cases} \quad (8)$$

Conforme discutido anteriormente, o uso de limites para *puts* climáticas nem sempre é necessário, por causa da existência de limitação para valores negativos de muitos indicadores. O uso de limitadores pode ser necessário para contratos que adotem índices de temperatura como ativo-objeto, por exemplo. Operações realizadas com limitação no *payoff* seguem o comportamento mostrado pela Figura 2.

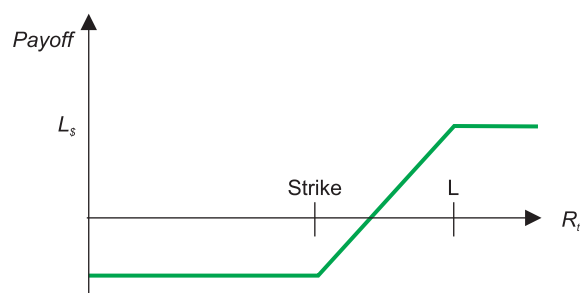
Nas opções pluviométricas, por exemplo, o titular do instrumento busca se proteger de variações das chuvas durante a vigência do contrato. Como exemplo, considere uma localidade com volume acumulado médio de chuva de 100 mm para o período de um mês, sendo x o valor efetivo da pluviosidade acumulada no período. Opções climáticas contratadas, com limitador de 200 mm, teriam a seguinte estrutura de *payoff*:

$$Call(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < 100 \\ D(x - K) & \text{se } 100 \leq x \leq 200 \\ L_s & \text{se } x > 200 \end{cases} \quad (9)$$

$$Put(x) = \begin{cases} L_s & \text{se } x = 0 \\ D(x - K) & \text{se } 0 < x \leq 100 \\ 0 & \text{se } x > 100 \end{cases} \quad (10)$$



(A) Titular de *put*



(B) Titular de *call*

Figura 2. *Payoffs* limitados no mercado de opções para venda (*put*) e compra (*call*).

Para as *calls*, o agente titular da opção estaria recebendo a indenização em períodos de pluviosidade acumulada maior do que 100 mm, protegendo-se do excesso de chuvas que possam prejudicar sua produção. Nesse exemplo, foi determinado um valor limite de 200 mm – ou seja, a partir desse patamar, o volume de chuva não afeta o resultado final do contrato. No caso da *put*, a situação se inverte. A indenização passa a ocorrer nos períodos de volume de chuvas menor do que 100 mm. No caso limite de seca (nenhuma precipitação), o agente recebe o valor limite da indenização possível pelo contrato. Tais instrumentos podem ser utilizados por produtores para protegerem suas receitas em situações de estiagem.

Risco de produção agrícola e uso de derivativos climáticos

Como outras atividades produtivas, a agricultura opera com vistas à obtenção de lucros por meio da produção de bens para a venda no mercado. Os resultados auferidos são dependentes de diversas decisões tomadas pelos gestores ao longo de todo o ciclo produtivo e comercial. Entre essas escolhas, estão o período de plantio, a forma de financiamento, o pacote tecnológico adotado, a forma de comercialização. Cada uma dessas decisões traz também diferentes riscos que precisam ser continuamente geridos pelo produtor.

Um dos principais instrumentos para a gestão do risco no setor é o seguro rural, pelo qual é possível transferir as consequências de eventos climáticos prejudiciais ao produtor a um terceiro. A contratação de um seguro eficiente permite a manutenção da competitividade no mercado mesmo com a ocorrência de perdas patrimoniais e a redução da produtividade da lavoura, decorrentes de eventos climáticos adversos. A variedade de produtos ofertados pelas seguradoras é grande – seguro de custeio, receita ou faturamento, produtividade, penhor rural e pecuniário, entre outros. O contrato de seguro mais adotado no Brasil é o seguro de custeio, que indeniza o agricultor no valor do crédito de custeio em caso de sinistro (Brasil, 2018).

Vale apontar que esse mercado ainda opera no País em escala insuficiente para garantir a estabilidade da renda do setor agropecuário. Os principais programas de incentivo são o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR) e os programas voltados para a agricultura familiar – Seguro Agrícola para a Agricultura Familiar (Seaf) e Garantia de Safra (GS). A viabilidade do mercado depende da atuação do setor público, via subvenção, para reduzir o custo para o produtor (Buainain & Silveira, 2017).

Diversos problemas limitam a capacidade de crescimento do seguro rural como instrumento de gestão do risco de produção. Ozaki (2007) aponta problemas intrínsecos ao produto, independentemente da estrutura normativa e legal do mercado onde ele é comercializado. Risco moral e seleção adversa são inconvenientes constantemente apontados na literatura como centrais ao desenvolvimento desse produto. Essas dificuldades decorrem da cobertura sobre a produtividade da safra proporcionada pelo seguro, o que permite a alguns produtores não executarem as melhores práticas no desempenho da atividade, caracterizando o risco moral. Em consequência disso, o custo do seguro no mercado acaba sendo elevado, desestimulando a parcela de produtores que prezam pela boa

gestão, evidenciando assim o problema da seleção adversa (World Bank, 2005; Ozaki, 2007).

Na ótica dos produtores, o uso desses contratos traz dificuldades relacionadas à avaliação do efeito de eventos climáticos adversos sobre a produtividade. Como o produtor depende da avaliação da seguradora sobre as condições de sua lavoura para receber a indenização, problemas de estimação podem ocorrer diante do nível real das perdas, reduzindo então a capacidade do seguro de proteger a receita dos produtores (World Bank, 2005).

Para o caso brasileiro, as principais dificuldades estão na concentração do risco no espaço e em culturas agrícolas específicas, na alta exposição a eventos catastróficos e no pouco conhecimento da mecânica operacional dos contratos de seguro (Almeida, 2007; Ozaki, 2007). A concentração do mercado em poucas áreas e culturas acaba por elevar o custo do seguro por causa da menor diversificação da carteira das seguradoras, aumentando assim seu risco e tornando o setor mais sujeito à exposição a eventos catastróficos. Esses processos acabam por aumentar a seleção adversa no setor, elevando o custo do prêmio. Além disso, a cultura dos produtores e o desconhecimento dos produtos disponíveis no mercado atuam em favor da difícil massificação do uso desses instrumentos. Diferentemente dos mercados europeu e americano, o produtor brasileiro não possui hábito de segurar sua produção (Almeida, 2007). Outras questões também relevantes são a elevada taxa de prêmio para contratação e o alto custo de fiscalização e peritagem para as seguradoras. Assim, é possível compreender o porquê de grande parte da área assegurada ainda depender de programas governamentais, como o PSR.

Os derivativos climáticos podem, portanto, abrir novas alternativas de gestão do risco de produção para os agentes de diversas etapas da cadeia produtiva do agronegócio. O desenvolvimento desse mercado permite mudanças nas estratégias de gestão do risco através da substituição do seguro rural tradicional (*crop yield*) pelos seguros atrelados a índices climáticos ou

aos próprios contratos de derivativos climáticos. O uso desses instrumentos na mitigação do risco de produção é avaliado em diversos estudos (a serem apresentados na próxima seção), ratificando sua capacidade de aperfeiçoamento da gestão de risco dos produtores. Os derivativos climáticos possuem características semelhantes às dos seguros atrelados a variáveis climáticas; na presente análise, os dois tipos serão discutidos de forma agrupada.

Morduch (2001), Turvey (2001), Botos & Ciumas (2012) e Purnanandam & Weagley (2016) apontam que o uso de derivativos climáticos, ou seguros rurais atrelados a variáveis climáticas, reduz sensivelmente os problemas de contratos baseados em indicadores de produtividade (*crop yield*). Com *payoffs* atrelados a variáveis climáticas, que não são determinadas pelo comportamento do segurado, os derivativos climáticos incentivam a utilização das melhores práticas de gestão da lavoura, reduzindo o risco moral na atuação dos produtores. Além disso, existe uma redução da seleção adversa, pois produtores que adotam as melhores práticas de plantio passam a ter incentivo à contratação da operação (Sun & Van Kooten, 2015). A atuação conjunta desses dois processos leva à redução do risco agregado do produto na ótica das seguradoras, o que, conseqüentemente, reduz o custo do seguro aos produtores.

A estrutura de pagamento dos derivativos também possui vantagens relevantes diante da utilizada pelo seguro tradicional. Primeiramente, o valor da indenização é independente da produtividade da lavoura, não sendo necessária a avaliação da seguradora. Isso permite maior clareza ao produtor quanto ao comportamento das variáveis relevantes para o recebimento da indenização, além de menor risco de problemas na estimação de suas perdas. Em segundo lugar, há uma queda do custo do seguro para a seguradora, decorrente da baixa necessidade de fiscalização e perícia para o cálculo da indenização no fim do contrato. Outra vantagem relevante dos derivativos climáticos é a maior transparência do desempenho do contrato ao

longo do tempo. Ambos os lados, produtor e seguradora, possuem capacidade de acompanhar o desempenho da variável climática ao longo do prazo do contrato, o que permite que as partes possam estimar com maior precisão o valor a ser pago ou recebido no fim da operação.

Nesse contexto, muitos estudos contribuíram com métricas distintas e modelos para análise da precificação de contratos climáticos, bem como na concepção do desenho desses contratos. Trouxeram também complexidades a respeito de quais regiões considerar como base de coleta de informações (estações meteorológicas e medições de temperatura, entre outros), bem como o tipo de contrato a considerar (*call* ou *put* de futuros e opções, swaps). Entre os mais recentes trabalhos, destacam-se Sun & Van Kooten (2015), Yuan et al. (2015), Hess (2016, 2018), Kermiche & Vuillermet (2016) e Türkvtan et al. (2020). Aqui, não serão abordados com profundidade os modelos teóricos de precificação. Porém, na sequência, é possível identificar as abordagens em estudos aplicados a diferentes mercados, como o cálculo da efetividade do *hedge*, o risco de base e os efeitos sobre a receita do produtor.

Estudos aplicados com derivativos climáticos na agricultura

Análise relativa ao uso dos derivativos climáticos

A partir da década de 2000, uma série de estudos empíricos exploraram as reais capacidades desses contratos na gestão do risco de produção na agricultura. Um dos primeiros trabalhos a buscar uma organização sistemática dos desenvolvimentos mais recentes no segmento foi Leblois & Quirion (2013). Nele, são reavaliadas três das principais experiências recentes sobre o uso de derivativos climáticos em países em desenvolvimento: Índia, Etiópia e Malawi. Os autores apontam que, apesar dos resultados positivos obtidos no número de produtores segurados, o

custo fiscal dos programas, decorrente da necessidade de subvenção do prêmio a ser pago pelos agricultores, e a dificuldade de mensuração dos efeitos diretos aos pequenos produtores tornam os benefícios dessas experiências questionáveis.

Em estudo de caráter complementar, Seth et al. (2009) buscam entender os determinantes do uso de derivativos climáticos por agricultores de pequeno porte na Índia. Com base nas respostas dos questionários, modelos Probit e Logit buscaram identificar as variáveis mais relevantes na tomada de decisão. Os resultados obtidos apontam que a probabilidade do uso de derivativos climáticos aumenta com a queda do valor do prêmio, com o aumento da escolaridade do produtor e com o maior conhecimento sobre diferentes produtos de seguro rural. Os autores fizeram também o cálculo do valor que os produtores estariam dispostos a pagar na contratação do seguro: 8,8% do *payout* máximo da operação.

Khan et al. (2013), em trabalho semelhante, avaliaram as práticas de gestão relativa ao risco climático dos produtores de grão da província canadense de Saskatchewan; região caracterizada por alta incidência de eventos climáticos de baixa severidade. Com informações de questionários respondidos por 397 produtores, constatou-se baixo uso de derivativos climáticos (menos de 10% dos produtores). A baixa penetração do produto tem como principal razão o desconhecimento sobre tais instrumentos; 59% dos que não usavam seguros baseados em índices climáticos não tinham conhecimento dessa modalidade contratual.

Já Sibiko et al. (2018) analisaram as preferências de produtores rurais no Quênia em relação ao uso de contratos de seguros climáticos. Buscaram compreender o grau de aversão ao risco e a disponibilidade de pagamento de prêmio. Com um modelo Logit aplicado a dados obtidos em entrevistas, os resultados sugerem que a disponibilidade de dados acurados referentes ao regime pluviométrico leva ao aumento da disposição dos produtores na contratação do seguro. Além disso, o estudo salienta que mecanismos

que reduzam o risco de base podem incentivar a participação e sugere que os contratos poderiam ser mais demandados se oferecidos para grupos de produtores, em vez de individualmente.

Efetividade do *hedge* e risco de base em operações com derivativos climáticos

Nesse grupo de estudos, buscou-se avaliar a implantação de derivativos climáticos e seus efeitos sobre a eficiência e a rentabilidade financeira de produtores e outros agentes ligados às cadeias produtivas. Turvey (2001) comparou a eficiência da cobertura de um seguro utilizando derivativos climáticos baseados em índices de temperatura e de pluviosidade para feno, milho e soja, no Canadá, usando como base dados de 61 anos. Considerando que a eficácia dos derivativos climáticos depende de diversos fatores, sendo necessário especificar adequadamente os riscos, o estudo primeiramente avalia se há correlação entre a produtividade agrícola e os fatores pluviosidade acumulada e dias sucessivos de temperaturas acima de 10º C. Usando uma função Cobb-Douglas para avaliar a fronteira de produção, o autor identifica que o milho e a soja são mais suscetíveis à baixa pluviosidade. Assim, sugere-se que eventos climáticos específicos podem contribuir significativamente com o risco de alterações na produtividade, ratificando a necessidade dos contratos climáticos. Na sequência, o estudo trata das dificuldades de precificar um contrato climático em razão das diferenças que podem haver na temperatura e pluviosidade de diferentes regiões, afetando os *payoffs* das opções climáticas e podendo incrementar o risco de base. Assim, sugere-se que o desenho de um contrato climático tome como base os determinantes que mais afetam a produtividade agrícola, não a variação da produtividade em si.

Já Martin et al. (2001) exploraram a gestão do risco de produção de algodão nos EUA com base num contrato de pluviosidade acumulada. Os autores, porém, analisaram a eficiência de uma *call* para chuvas em momento de colheita, diferentemente de outros trabalhos que trataram,

de forma geral, de situações de baixa precipitação. No modelo proposto, tomou-se como base a possibilidade de cada comprador especificar os parâmetros da função do prêmio do seguro, de acordo com seus riscos e necessidades. Tal customização estaria atrelada a um aumento nos custos da operação. Nesse caso, produtores em áreas com maiores incertezas acerca do volume e distribuição da precipitação estariam dispostos a pagar mais que outros em áreas de maior estabilidade climática.

Vedenov & Barnett (2004) focaram as análises em praças produtoras de milho, algodão e soja dos EUA. Admitindo como premissa os contratos de produtores que hipoteticamente não usaram nenhuma forma alternativa de redução de risco, os autores mensuraram a exposição dos produtores ao risco do uso dos contratos por três métricas – erro quadrático médio das perdas (MRSL), value at risk (VaR) e equivalente de certeza da receita (CERs) –, usando séries de dados de produtividade e preços de 1972 a 2001. Em geral, não identificaram diferenças significativas na mensuração do risco pelos métodos calculados. No entanto, o estudo apontou que a efetividade dos derivativos climáticos varia significativamente conforme a região produtora e a cultura analisada, podendo inclusive o risco aumentar, dependendo da combinação entre cultura e região analisada.

Berg et al. (2006) focaram na produção de batatas na Alemanha. Os autores testaram a efetividade do uso de uma opção de venda (*put*) sobre pluviosidade. Considerando a distribuição acumulada de precipitação e simulando os resultados a partir da função de distribuição da receita com ou sem *put*, observaram que, em situações em que a correlação entre o índice utilizado no derivativo e a produtividade da lavoura era menor que 0,6, a redução do risco climático do produtor era pequena. Nessa mesma temática, Stoppa & Hess (2004) avaliaram o uso de derivativo vinculado a um indicador de pluviosidade acumulada para a gestão do risco climático na produção de trigo no Marrocos. Para isso, os autores construíram um indicador de pluviosidade ponderado

pelos períodos (ciclos) de crescimento da cultura, considerando a produtividade agrícola. Em geral, constataram que o índice em questão foi capaz de explicar 92% da variabilidade da produtividade. Analisaram também a eficiência do *hedge* e verificaram que a opção construída com base no indicador foi capaz de reverter parte importante das perdas decorrentes da baixa precipitação.

Musshoff et al. (2011) investigaram o uso de opções de precipitação no nordeste da Alemanha aplicando a análise para produção de trigo. Foram utilizados dados de precipitação para 2000–2003 e consideradas propriedades agrícolas de 850 hectares de área cultivável para o trigo. Os autores, então, estimaram uma função de produção para o trigo e analisaram a função de receita da atividade. Em seguida, analisaram, por um processo estocástico, qual seria a distribuição da receita usando ou não as opções para pluviosidade. Verificou-se, assim, que a efetividade do *hedge* caía à medida que aumentava a distância da fazenda até a estação meteorológica de referência, dada a elevação do risco de base, bem como quando existia baixa relação entre o índice pluviométrico e a produtividade agrícola. Já Pelka & Musshoff (2013), ao focarem na produção de trigo da região central da Alemanha, analisaram a efetividade de operações de *hedge* com contratos de opções de temperatura e de precipitação, comparando seus respectivos resultados. A efetividade do *hedge* foi analisada com a técnica de *bootstrap* com 10 mil simulações para a produtividade do trigo de inverno. Conforme os resultados, o uso dos derivativos mostraram alto potencial de redução do risco relativo às receitas da atividade. Além disso, o estudo sugeriu que é necessário avaliar mais cautelosamente a agregação de índices previamente estabelecidos e seu grau de padronização, já que algumas premissas simplificadas podem indicar alta eficiência do hipotético *hedge*.

Zhou et al. (2018) examinaram a redução da incerteza sobre a produtividade de grãos pela aplicação de seguros agrícolas atrelados a índices pluviométricos. O estudo foi conduzido para a produção de milho no leste de Illinois, EUA,

considerando que a produtividade é negativamente correlacionada com o excesso de chuvas em maio e com a seca de junho a agosto. Foi adotada a técnica de *bootstrapping* para simular os índices meteorológicos e a produtividade futura, considerando tanto a pluviosidade quanto a temperatura. Em seguida, diversos modelos de regressão foram aplicados para relacionar a produtividade com a pluviosidade e a temperatura, mensalmente. Os resultados indicaram que a redução da variância foi de 65,5%, se incorporada a correlação entre precipitação e temperatura, e de 12% caso contrário. A efetividade do uso do índice de seguro proposto foi estimada em 25% quando comparada à de instrumentos usuais disponíveis no mercado para os produtores de milho.

Já Woodard & Garcia (2008a) avançaram nas investigações a respeito do risco de base para o mercado norte-americano de milho. Os resultados obtidos mostraram que tal risco não deve ser ignorado, mas isso não deve ser fator impeditivo para o uso de contratos de temperatura. Variáveis com elevada correlação espacial podem compensar o risco de base, mantendo a eficiência do *hedge* obtido com contratos medidos com diferentes distâncias. Esse efeito fica mais claro ao se compararem contratos baseados em índices de temperatura com outros baseados em índices de pluviosidade. Dada a menor correlação espacial da pluviosidade, a perda de eficiência do *hedge* com a distância entre a unidade de medição e o local de produção é maior. Em estudo complementar, Woodard & Garcia (2008b) observaram que, conforme se considera a exposição ao risco de produção de forma mais agregada, existe redução do risco diversificável (não sistemático). Resta, assim, o risco climático, que pode ser gerenciado com derivativos de clima. Tal evidência revela o potencial de uso dos contratos pelas resseguradoras.

Em consonância com boa parte dos estudos citados, Torriani et al. (2008) propuseram um modelo que relacionasse produtividade e pluviosidade para produtores de milho na Suíça. Com dados de diversas estações climatológicas,

os autores usaram um modelo estatístico determinístico para obter tais relações. Em geral, constataram que, apesar de um considerável risco de base, derivativos de pluviosidade possuem alto potencial de reduzir os riscos de produção de milho na Suíça. Evidências similares foram encontradas por Möllmann et al. (2019), ao avaliarem, entre três índices (crescimento vegetativo, produtividade e temperatura) para a produção de trigo na Alemanha, qual proveria maior redução no risco de base, aprimorando a performance do derivativo climático. Os autores concluíram que o índice que avalia a produtividade agrícola (em termos da qualidade do crescimento vegetativo) é mais adequado, sobretudo em regiões mais distantes das estações meteorológicas.

Vale ainda apontar que outros mercados também foram alvo de pesquisas no que se refere ao uso de derivativos de temperatura no gerenciamento do risco climático. Chen et al. (2006) avaliaram o uso de opções de umidade relativa e de temperatura na gestão de produção de leite. Diferentemente de muitos dos estudos empíricos na área, o instrumento analisado do estudo tinha como objetivo proteger a produção do excesso da variável climática, no caso a temperatura, já que excessos de temperatura afetam condições de bem-estar animal e têm efeito direto sobre a receita do produtor. O estudo considerou duas possibilidades de redução de riscos: derivativos climáticos ou técnicas de otimização do bem-estar animal. Depois, definiu a escolha do portfólio ótimo do produtor por meio de uma função de maximização da utilidade derivada do processo de média-variância. Nesse sentido, foi analisado o uso de opção de compra (*call*) para mitigar as perdas decorrentes da queda na produção de leite em períodos de elevada temperatura. Os resultados apontam para uma importante redução das perdas com o uso do instrumento em substituição às tecnologias de redução da temperatura. A maior redução das perdas (48%) ocorreu na estratégia conjunta entre derivativos climáticos e equipamentos de redução da temperatura. Deng et al. (2007), também com foco no setor lácteo, exploraram o efeito do risco de base temporal e espacial. O estudo foi conduzido a partir da pro-

posição de um seguro baseado em um índice de temperatura e umidade, examinando o potencial de redução de risco atrelado ao *stress* causado nas vacas sob intenso calor. Os resultados apontaram para benefícios desse tipo de seguro na gestão de risco, mesmo considerando situações cujo prêmio seja elevado, ou com aumento do risco de base. Concluíram, além disso, que o risco temporal pode ser mitigado quando se usam estruturas contratuais diferentes para períodos quentes e frios. Já o risco espacial é menos relevante, por causa da elevada correlação espacial da temperatura, corroborando as conclusões de Woodgard & Garcia (2008a).

Os trabalhos de Cyr et al. (2010), Zara (2010) e Cortina & Sánchez (2013) examinaram o uso de opções de temperatura na vinicultura. Esses trabalhos dão especial importância aos possíveis efeitos das mudanças climáticas para os resultados obtidos pelos contratos. Cortina & Sánchez (2013) argumentam que os dados obtidos exibem tendência não desprezível, apontando para um processo de queda da temperatura mínima na região do estudo (Argentina). Tal processo pode elevar o risco de geadas tardias na região, prejudicando assim a capacidade do contrato de mitigar o risco de produção e elevando seu prêmio. Cyr et al. (2010) mostram como podem ocorrer não linearidades nos extremos da distribuição (*tail-dependence*) da correlação entre a variável climática (pluviosidade) e a produtividade e também sobre a correlação espacial da precipitação. Zara (2010) constatou redução de 35% na volatilidade da receita dos produtores com o uso de contratos climáticos de estrutura semelhante aos CDD combinados com estratégias de *strangle*.

Já Stulec (2017) analisou empiricamente o processo do desenho de um contrato de derivativo climático e testou a efetividade do *hedge* para mitigação do risco no setor varejista de alimentos na Croácia, especificamente para a venda de bebidas não alcoólicas. A análise foi conduzida com base na sensibilidade das vendas em relação às variações de temperatura. Metodologicamente, a autora usou um modelo

de regressão por painel com correção para os erros padrão. Os resultados sugerem que o clima é significativamente relevante para as vendas de bebidas, sendo o contrato de derivativo climático proposto eficiente para a redução das incertezas em relação às vendas. No entanto, a autora ressalta que a efetividade do *hedge* varia em diferentes momentos do ano e localidades.

Estudos aplicados ao caso brasileiro

No Brasil, os derivativos climáticos não têm sido alvo de muitas pesquisas. Dois dos principais trabalhos discutem modelos de precificação específicos para esses tipos de contratos (Rodrigues, 2006; Lemos, 2014). Rodrigues (2006) apresenta metodologias para a modelagem e previsões da temperatura da cidade do Rio de Janeiro pelo uso de séries temporais, com foco na construção de um índice CDD para a cidade. O autor usa modelos de séries temporais para definir o procedimento de melhor ajuste e assertividade para prever o comportamento das temperaturas. Aponta, então, que o modelo com ajuste sazonal pela transformação de Fourier exibiu o melhor resultado – embora os demais procedimentos testados também tenham sido satisfatoriamente ajustados para a previsão –, concluindo, portanto, que os modelos de séries temporais são os mais adequados para a análise de precificação de contratos climáticos.

Já Lemos (2014) desenvolve um método com base em dados de 265 estações meteorológicas do Brasil, de 1970 a 2012. Inicialmente, havia o problema de dados faltantes, para o qual se desenvolveu uma metodologia de preenchimento de dados com séries temporais de variáveis climáticas, problema comum nas bases de dados disponíveis no Brasil, com modelos estatísticos e econométricos. Em seguida, são aplicados os métodos de *Burning Cost* e de Modelagem do Índice para a precificação dos contratos climáticos. Em geral, o estudo aponta um viés nos dados simulados em relação aos dados históricos, o que poderia causar grandes distorções na precificação dos contratos. Nesse sentido, conclui-se que os principais problemas

no estudo de precificação de contratos climáticos referem-se à qualidade e à consistência dos dados climáticos no Brasil.

Lopes (2018) expõe um modelo de minimização de risco de base de um derivativo climático hipotético que leva em consideração um índice de precipitação para definição dos *payoffs* por meio da diversificação regional na construção de portfólios. O estudo usou um modelo de precipitação multilocal como instrumento de previsão dos portfólios. Foi verificado se a diversificação regional tinha capacidade de reduzir o risco de base para o contrato de precipitação e se o modelo multilocal seria uma estratégia superior a outras abordagens, como a ponderação pela distância e as simulações históricas. Aplicando o estudo para três regiões agrícolas do Brasil, constatou-se que os portfólios construídos com o modelo multilocal tiveram melhor desempenho que as outras abordagens, reduzindo o risco de base nas três regiões.

Raucci et al. (2019) avaliaram o uso de opções de venda pluviométricas na gestão do risco de produção de soja no Rio Grande do Sul. Com o uso do método de modelagem de índice, aplicando dois índices (pesos iguais e ponderado pelas etapas de crescimento da planta), a adoção dos contratos reduziu a variabilidade da receita por hectare em aproximadamente 30%, sem redução significativa da receita média. Além disso, observou-se que o prêmio do contrato variou de 10% a 15% da receita por hectare, dependendo da estrutura contratual utilizada. Os autores apontam também que, apesar de possuir custo elevado ao produtor, a contratação do derivativo pode ser um instrumento relevante de controle do risco de produção. Porém, atenção tem de ser dada à sustentabilidade financeira do contrato, tendo em vista a elevada relação indenizações-prêmio apresentada.

Considerações finais

O aprofundamento do mercado de derivativos climáticos pode ser uma alternativa ao desenvolvimento de novos instrumentos de

gestão de risco no agronegócio. A possibilidade de estruturar contratos atrelados a diferentes variáveis climáticas e a flexibilidade da estrutura de *payoffs* permitem que esses contratos possam ser concebidos com foco em diversos agentes e setores. Essa versatilidade explica a atenção que esses produtos têm recebido nos últimos anos no mercado mundial, sendo utilizados para a gestão do risco num grande número de atividades.

É possível observar que os muitos estudos realizados nessa temática têm produzido resultados cada vez mais consistentes sobre a capacidade de os derivativos climáticos mitigar o risco de produção no agronegócio. Pesquisas aplicadas para diferentes localidades e regimes edafoclimáticos têm demonstrado a eficácia desses instrumentos.

Somam-se a isso as vantagens que esses instrumentos possuem diante do seguro rural tradicionalmente comercializado, notadamente marcado pelos problemas de risco moral e seleção adversa. Ao não atrelarem o valor de indenização paga ao produtor à produtividade da lavoura, o incentivo ao uso de estratégias de gestão da produção subótimas deixa de existir, de forma que produtores que não adotavam as melhores práticas de gestão por estarem segurados deixam de fazê-lo. Decorre então a redução do risco agregado para as seguradoras e, conseqüentemente, do custo do seguro, o que permite que agentes que estavam fora do mercado possam operar. Além disso, esse tipo de instrumento auxilia o governo na revisão da política de suporte à agricultura, em específico nos programas de seguro rural, permitindo assim um melhor direcionamento da subvenção pública a segmentos específicos dos mercados agrícolas. Além disso, os crescentes efeitos das mudanças climáticas sobre as regiões produtoras lançam novos desafios à atividade agrícola. Nesse cenário, o uso de derivativos climáticos pode ser importante para auxiliar os produtores na gestão de novos riscos.

Nota-se, no entanto, que no Brasil esse mercado ainda é bastante incipiente. Como esses contratos não possuem as limitações do se-

guro rural tradicional, seu desenvolvimento pode permitir uma gestão mais eficiente do risco de produção e que maiores áreas sejam cobertas. O desenvolvimento de uma solução essencialmente privada para o mercado de seguro pode permitir que o setor desenvolva novos mecanismos de gestão de risco sem a necessidade de grandes aportes do setor público brasileiro.

Entende-se, portanto, que, com base nas características desses contratos e dos estudos já aplicados, pesquisas futuras podem avançar no sentido de analisar a capacidade dos contratos climáticos de mitigarem o risco de produção nas principais lavouras brasileiras e nos diferentes regimes climáticos. As análises podem também incluir o efeito do risco de base sobre a eficiência do *hedge* desses contratos. Metodologias de apreçamento desses contratos também podem ser alvo de investigações, o que possibilitaria traçar um quadro comparativo dos custos envolvidos com tais derivativos e os contratos de seguro tradicionais. Além disso, uma análise mais circunscrita à ótica da política agrícola, considerando um cenário de viabilidade desses contratos, é válida no sentido de avaliar as possibilidades de revisão no direcionamento dos instrumentos de subvenção do governo federal.

Por fim, salienta-se, no entanto, as evidências obtidas em estudos recentes quanto às limitações dessa ferramenta. Em geral, apontam a dificuldade dos produtores em compreenderem a dinâmica de funcionamento dos contratos de derivativos climáticos. Destacam também outros dois aspectos negativos: primeiramente a questão do risco de base, sobretudo por ser muito difícil correlacionar perfeitamente o índice meteorológico proposto no contrato e a produtividade agrícola ao longo das safras. Segundo, a baixa disponibilidade de estações meteorológicas em algumas regiões, o que dificulta ao produtor obter dados de uma referência mais próxima de sua realidade. Nesse sentido, entende-se que a proposição de um contrato climático precisa considerar tais aspectos para atrair o maior número possível de interessados.

Referências

- ALMEIDA, W.S. de. Massificação das operações do seguro rural: o grande desafio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, ano16, p.21-26, 2007.
- BERG, E.; SCHMITZ, B.; STARP, M.; TRENKEL, H. Weather derivatives as a risk management tool in agriculture. In: CAFIERO, C.; CIOFFI, A. (Ed.). **Income stabilization in agriculture: the role of public policies**. Napoli: Edizione Scientifiche Italiane, 2006. p.379-396.
- BESSADA, O.; BARBEDO, C.; ARAÚJO, G. **Mercado de derivativos no Brasil: conceitos, operações e estratégias**. 3.ed. Rio de Janeiro: Record, 2013.
- BIS. Bank for International Settlements. **OTC derivatives outstanding**. Basel, 2017. Disponível em: <<https://www.bis.org/statistics/derstats.htm>>. Acesso em: 14 abr. 2019.
- BOTOS, H.M.; CIUMAS, C. The use of the Black-Scholes model in the field of weather derivatives. **Procedia Economics and Finance**, v.3, p.611-616, 2012. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(12\)00203-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(12)00203-1).
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Atlas do Seguro Rural**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/atlasdoseguro/>>. Acesso em: 13 mar. 2019.
- CHEN, G.; ROBERTS, M.C.; THRAEN, C.S. Managing dairy profit risk using weather derivatives. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.31, p.653-666, 2006.
- CORTINA, E.; SÁNCHEZ, I. Hedging late frost risk in viticulture with exotic options. **Agricultural Finance Review**, v.73, p.136-160, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1108/00021461311321366>.
- CYR, D.; KUSY, M.; SHAW, A.B. Climate change and the potential use of weather derivatives to hedge vineyard harvest rainfall risk in the Niagara Region. **Journal of Wine Research**, v.21, p.207-227, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/09571264.2010.530112>.
- DENG, X.; BARNETT, B.J.; VEDENOV, D.V.; WEST, J.W. Hedging dairy production losses using weather-based index insurance. **Agricultural Economics**, v.36, p.271-280, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2007.00204.x>.
- ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S.R.; PINTO, H. de M. Processo de investigação e análise bibliométrica: avaliação da qualidade dos serviços bancários. **Revista de Administração Contemporânea**, v.17, p.325-349, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-65552013000300005>.
- FIA. Futures Industry Association. **FIA releases annual trading statistics showing record ETD volume in 2018**. Washington, 2019. Disponível em: <<https://fia.org/>>

articles/fia-releases-annual-trading-statistics-showing-record-etc-volume-2018>. Acesso em: 14 abr. 2019.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HESS, M. Modeling and pricing precipitation derivatives under weather forecasts. **International Journal of Theoretical and Applied Finance**, v.19, art.1650051, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0219024916500515>.

HESS, M. Pricing temperature derivatives under weather forecasts. **International Journal of Theoretical and Applied Finance**, v.21, art. 1850031, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0219024918500310>.

HULL, J.C. **Options, futures, and other derivatives**. 7th ed. New Jersey: Pearson, 2008.

JEWSON, S.; BRIX, A. **Weather derivative valuation: the meteorological, statistical, financial and mathematical foundations**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511493348>.

JONES, T.L. Agricultural applications of weather derivatives. **International Business & Economic Research Journal**, v.6, p.53-60, 2007. DOI: <https://doi.org/10.19030/iber.v6i6.3377>.

KERMICHE, L.; VUILLERMET, N. Weather derivatives structuring and pricing: a sustainable agricultural approach in Africa. **Applied Economics**, v.48, p.165-177, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/00036846.2015.1076147>.

KHAN, S.; RENNIE, M.; CHARLEBOIS, S. Weather risk management by Saskatchewan agriculture producers. **Agricultural Finance Review**, v.73, p.161-178, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1108/00021461311321375>.

LABUSZEWSKI, J.W.; NYHOFF, J.; CO, R.; PETERSON, P.E. **The CME Group risk management handbook: products and applications**. Hoboken: J. Wiley & Sons, 2010.

LEBLOIS, A.; QUIRION, P. Agricultural insurances based on meteorological indices: realizations, methods and research challenges. **Meteorological Applications**, v.20, p.1-9, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/met.303>.

LEMOS, G.B. de. **Precificação de derivativos climáticos no Brasil: uma abordagem estatística alternativa e construção de um algoritmo em R**. 2014. 161p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LOPES, L.L. **Minimização de risco de base geográfico de derivativos climáticos no Brasil**. 2018. 138p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MARTIN, S.W.; BARNETT, B.J.; COBLE, K.H. Developing and pricing precipitation insurance. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.26, p.261-274, 2001.

MÖLLMANN, J.; BUCHHOLZ, M.; MUSSHOF, O. Comparing the hedging effectiveness of weather derivatives based on remotely sensed vegetation health indices and meteorological indices. **Weather, Climate, and Society**, v.11, p.33-48, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-17-0127.1>.

MORDUCH, J. **Rainfall insurance and vulnerability: economic principles and cautionary notes**. [New York: New York University], 2001.

MUSSHOF, O.; ODENING, M.; XU, W. Management of climate risks in agriculture—will weather derivatives permeate? **Applied Economics**, v.43, p.1067-1077, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/00036840802600210>.

OZAKI, V.A. O papel do seguro na gestão do risco agrícola e os empecilhos para o seu desenvolvimento. **Revista Brasileira de Risco e Seguro**, v.2, p.75-92, 2007.

PELKA, N.; MUSSHOF, O. Hedging effectiveness of weather derivatives in arable farming – is there a need for mixed indices? **Agricultural Finance Review**, v.73, p.358-372, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1108/AFR-10-2012-0055>.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2.ed. Novo Hamburgo: Universidade FEEVALE, 2013.

PURNANANDAM, A.; WEAGLEY, D. Can markets discipline government agencies? Evidence from the weather derivatives market. **The Journal of Finance**, v.71, p.303-334, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jofi.12366>.

RAUCCI, G.L.; LANNA, R.; SILVEIRA, F. da; CAPITANI, D.H.D. Development of weather derivatives: evidence from the Brazilian soybean market. **Italian Review of Agricultural Economics**, v.74, p.17-28, 2019.

RODRIGUES, B.D. **Modelagem de séries temporais focada na precificação de derivativos climáticos**. 2006. 73p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SETH, R.; ANSARI, V.A.; DATTA, M. Weather-risk hedging by farmers: an empirical study of willingness-to-pay in Rajasthan, India. **Journal of Risk Finance**, v.10, p.54-66, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1108/15265940910924490>.

SHI, H.; JIANG, Z. The efficiency of composite weather index insurance in hedging rice yield: evidence from China. **Agricultural Economics**, v.47, p.319-328, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/agec.12232>.

SIBIKO, K.W.; VEETIL, P.C.; QAIM, M. Small farmers' preferences for weather index insurance: insights from Kenya. **Agricultural & Food Security**, v.7, art.53, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0200-6>.

STOPPA, A.; HESS, U. Design and use of weather derivatives in agricultural policies: the case of rainfall

- index insurance in Morocco. In: ANANIA, G.; BOHMANM, M.E.; CARTER, C.A.; MCCALLA, A.F. (Ed.). **Agricultural policy reform and the WTO: where are we heading?** Capri: Edward Elgar, 2004. 17p.
- STULEC, I. Effectiveness of weather derivatives as a risk management tool in food retail: the case of Croatia. **International Journal of Financial Studies**, v.5, art.2, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijfs5010002>.
- SUN, B.; VAN KOOTEN, G.C. Financial weather derivatives for corn production in Northern China: a comparison of pricing methods. **Journal of Empirical Finance**, v.32, p.201-209, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2015.03.014>.
- TORRIANI, D.S.; CALANCA, P.; BENISTON, M.; FUHRER, J. Hedging with weather derivatives to cope with climate variability and change in grain maize production. **Agricultural Finance Review**, v.68, p.67-81, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1108/00214660880001219>.
- TÜRKVATAN, A.; HAYFAVI, A.; OMAI, T. A regime switching model for temperature modeling and applications to weather derivatives pricing. **Mathematics and Financial Economics**, v.14, p.1-42, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11579-019-00242-0>.
- TURVEY, C.G. Weather derivatives for specific event risks in agriculture. **Review of Agricultural Economics**, v.23, p.333-351, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-9353.00065>.
- VEDENOV, D.V.; BARNETT, B.J. Efficiency of weather derivatives as primary crop insurance instruments. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.29, p.387-403, 2004.
- WEAGLEY, D.R. **Essays on the weather derivatives market**. 2014. 126p. Dissertation (Doctor) – University of Michigan, [Ann Arbor].
- WOODARD, J.D.; GARCIA, P. Basis risk and weather hedging effectiveness. **Agricultural Finance Review**, v.68, p.99-117, 2008a. DOI: <https://doi.org/10.1108/00214660880001221>.
- WOODARD, J.D.; GARCIA, P. Weather derivatives, spatial aggregation, and systemic risk: implications for reinsurance hedging. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.33, p.34-51, 2008b.
- WORLD BANK. **Agriculture investment sourcebook**. Washington, 2005.
- WRMA. **Weather Risk Management Survey**. New York, 2011. Disponível em: <<https://netforum.avectra.com/eWeb/DynamicPage.aspx?Site=WRMA&WebCode=Resouces>>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- YUAN, W.; GÖNCÜ, A.; ÖKTEN, G. Estimating sensitivities of temperature-based weather derivatives. **Applied Economics**, v.47, p.1942-1955, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/00036846.2014.1002888>.
- ZARA, C. Weather derivatives in the wine industry. **International Journal of Wine Business Research**, v.22, p.222-237, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1108/17511061011075365>.
- ZHOU, R.; LI, J.S.-H.; PAI, J. Evaluating effectiveness of rainfall index insurance. **Agricultural Finance Review**, v.78, p.611-625, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1108/AFR-11-2017-0102>.
-