

DIGITALES ARCHIV

ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
ZBW – Leibniz Information Centre for Economics

Maranhão, André Nunes; Bittencourt, Alexandre Muzy

Article

Quebra de safra de commodities agrícolas utilizando modelos probit dinâmicos

Provided in Cooperation with:

Universidade Católica de Brasília (UCB), Brasília

Reference: Maranhão, André Nunes/Bittencourt, Alexandre Muzy (2021). Quebra de safra de commodities agrícolas utilizando modelos probit dinâmicos. In: Revista brasileira de economia de empresas 21 (1), S. 23 - 63.

<https://portalrevistas.ucb.br/index.php/rbee/article/download/12460/7458>.

This Version is available at:

<http://hdl.handle.net/11159/13144>

Kontakt/Contact

ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft/Leibniz Information Centre for Economics
Düsternbrooker Weg 120
24105 Kiel (Germany)
E-Mail: [rights\[at\]zbw.eu](mailto:rights[at]zbw.eu)
<https://www.zbw.eu/econis-archiv/>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Dieses Dokument darf zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen. Sofern für das Dokument eine Open-Content-Lizenz verwendet wurde, so gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

<https://zbw.eu/econis-archiv/termsfuse>

Terms of use:

This document may be saved and copied for your personal and scholarly purposes. You are not to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public. If the document is made available under a Creative Commons Licence you may exercise further usage rights as specified in the licence.

Quebra de safra de commodities agrícolas utilizando modelos probit dinâmicos

Resumo: Este estudo teve como objetivo estimar a probabilidade de quebra de safra de algumas culturas agrícolas do Brasil, considerando um amplo conjunto de covariáveis e utilizando diferentes classes de modelos Probit dinâmicos (estático, dinâmico, autorregressivo e dinâmico autorregressivo). Foram implementadas marcações de quebra de safra considerando três critérios: cronologia de eventos por cultura e Unidade Federativa, variação de produção e produtividade e número de acionamentos de seguros. Por meio do método *Stepwise*, foi possível formar um conjunto de covariáveis para a estimação da probabilidade de ocorrência de quebra de safra das culturas de soja, milho, algodão e trigo. Os resultados mostraram que os modelos Probit, em suas diferentes variantes, apresentaram percentuais de acerto superiores a 70% em todas as culturas, contudo também apresentaram taxas de falso-positivos acima de 10%. As variáveis atividade comercial, número de acionamento de seguros e condições climáticas foram as mais relevantes nos modelos estimados.

Palavras-chave: Modelos Probit; Agricultura; Clima; Quebra de safra.

Abstract: *This study aimed to estimate the probability of crop failure of some agricultural crops in Brazil considering a wide set of covariates and using different classes of dynamic Probit models (static, dynamic, auto-regressive and dynamic auto-regressive). A crop break schedule was implemented, considering three criteria: chronology of events by crop and federative unit, variation in production and number of insurance triggers. Using the Stepwise method, it was possible to form a set of covariables to estimate the probability of crop failure occurring in soybean, corn, cotton and wheat crops. The results showed that the Probit models, in their different variants, presented percentages of correct answers above 70% in all cultures, however they also presented false-positive rates above 10%. Commercial activity, the number of insurance policies and climatic conditions were the most relevant variables in the estimated models.*

Keywords: *Probit Models; Agriculture; Climate; Crop Shortfall.*

Classificação JEL: C00; D00.

André Nunes Maranhão¹

Alexandre Muzy Bittencourt²

¹ PhD em Economia. Economista. Estatístico. Cientista de Dados Sênior no Banco do Brasil. Professor no Departamento de Economia - Universidade Católica de Brasília. E-mail: andrenmaranhao@gmail.com.

² Dr. em Economia Rural. Engenheiro Florestal. Assessor em Unidade Estratégia no Banco do Brasil. E-mail: amb.cwb@gmail.com.

1. Introdução

Dado o crescimento da população mundial e a necessidade de se produzir cada vez mais alimentos para atender a essa demanda, a produção agrícola passou ao longo das últimas décadas por uma transformação, com investimentos e adoção de tecnologias visando ganhos de produtividade, haja vista as dificuldades envolvidas com a expansão de áreas agrícolas ao redor do mundo, quais sejam: ambientais, sociais e econômicas.

Considerando tais limitações e a importância de se produzir cada vez mais alimentos, além de investir em tecnologias inovadoras na produção, faz-se importante conhecer as relações existentes entre os fatores que podem causar frustrações na produção agrícola, neste artigo chamadas de “quebras de safra”.

As atividades econômicas causaram diversos problemas ambientais (climáticos) ao longo dos últimos séculos e este tema vem sendo objeto de estudo, como nos trabalhos pioneiros de Nordhaus (1977), no qual discutia as implicações climáticas decorrentes das atividades econômicas.

A produção agrícola é muito susceptível às condições climáticas. Neste sentido, estudos relacionados à fisiologia das plantas e sua interação com os diferentes tipos de solo, pragas e doenças e ao clima são vastamente estudados na literatura e diversos pacotes tecnológicos para as diferentes culturas agrícolas brasileiras estão disponíveis no mercado. Por outro lado, mesmo adotando-se as melhores práticas de manejo, a variável climática acaba sendo determinante para o sucesso ou a frustração de uma safra.

A quebra de safra, além de impactar a produção agrícola de uma região/país, afeta diretamente a rentabilidade da atividade, pois impacta a receita do produtor, que a depender da sua saúde financeira, pode resultar em menor investimento futuro na atividade e contribuir ainda mais para uma nova quebra de produção, pois além da imprevisibilidade climática, sua cultura estará desprovida da proteção gerada pela adoção das melhores práticas de manejo.

Desta forma, o presente estudo foca na tentativa de identificação prévia de possíveis quebras de safra. Parte-se do pressuposto de que modelos de previsão podem ser utilizados como mitigadores de risco das atividades agrícolas, possibilitando a adoção de estratégias de proteção, tanto de renda para os produtores rurais, quanto de crédito para as instituições financeiras.

O artigo é organizado apresentando na seção 2 um referencial teórico com estudos relevantes sobre o tema, a seção 3 apresenta o detalhamento da metodologia e da base de dados, tratamentos utilizados e como são organizados os modelos e testes implementados, bem como o método dos modelos Probit em suas diferentes variantes, a seção 4 apresenta os resultados, com as conclusões sendo apresentadas na seção 5. Cabe ressaltar que a literatura relacionada a quebras de safra e modelos Probit é incipiente, em especial no Brasil. Por esta razão, os resultados obtidos no presente artigo mostram-se relevantes ao tema.

2. Referencial teórico

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), define mudança climática como variações no clima que podem ser identificadas (usando testes estatísticos) por mudanças na média e/ou na variabilidade de suas propriedades e que persistem por um longo período, tipicamente décadas ou mais. Ela refere-se a qualquer mudança do clima ou qualquer que seja sua decorrência, tanto por variações naturais ou pelas atividades humanas Bernstein (2007).

Leske et al. (2016), partindo do princípio de que quebras de produção causadas

por severos problemas climáticos têm sido reportadas em diversas regiões do globo, os autores buscaram estimar, de forma pioneira, as perdas na produção global de cereais. Utilizaram bases de dados divulgados de desastres climáticos ocorridos entre 1964 e 2007. A metodologia adotada foi a análise de época sobreposta, com o objetivo de isolar e mensurar os sinais de efeito resposta dos eventos climáticos extremos utilizando base de dados de produção nacional de 177 países. Este método é uma abordagem estatística que tem sido adotada para aprimorar o sinal ou influência dos eventos climáticos extremos em dados de séries temporais.

Ainda, o referido estudo de Lesk et al. (2016) evidenciou a ocorrência de 2.184 inundações, 497 estiagens prolongadas, 138 períodos de temperaturas excessivas e 194 períodos de frio extremo (geadas, nevascas etc.). Os resultados mostraram que as secas e o calor excessivo reduziram significativamente a produção de cereais (9% a 10%), enquanto não foi possível identificar o efeito das inundações e frio extremo nos dados nacionais dos países analisados. Importante destacar que foi constatado que as perdas de produção devido às secas foram associadas à uma redução tanto na área colhida, quanto na produção, enquanto o calor extremo diminuiu principalmente a produção de cereais.

Os efeitos climáticos adversos dos fenômenos "El Niño" e "La Niña" são recorrentes e causam prejuízos a agricultura brasileira. Neste contexto, Berlato e Fontana (2001) estudaram estes fenômenos climáticos e seus impactos na agricultura na região Sul do Brasil. O episódio com temperaturas elevadas de "El Niño" é caracterizado por apresentar chuvas acima da média climatológica e os episódios frios, por chuvas abaixo do esperado para o período, sendo que na região sul tais fenômenos são mais comuns e intensos na primavera e início do verão. Ainda, Berlato e Fontana (2001) comentam que, geralmente, o "El Niño" é um fenômeno favorável às culturas não irrigadas de primavera/verão de soja e milho e, por outro lado, o "La Niña" é responsável por perdas no período da colheita dos dois principais grãos colhidos na região sul. Já a cultura de trigo é beneficiada pelo "La Niña". Assim, estes autores reforçam que prever tais fenômenos é fundamental para o manejo dos plantios, água e solo, bem como para a redução de riscos e quebras de safra.

Hirakuri e Lazzarotto (2014) em estudo sobre o agronegócio nos contextos mundial e brasileiro observam que a área cultivada aumentou 49,8%, enquanto a produtividade cresceu 61,5% no período compreendido entre as safras de 2000/2001 e 2013/2014. Ressaltam que a maior produtividade alcançada em menor área cultivada foi possível dado ao avanço tecnológico em nível mundial e que esse aumento de produtividade poderia ter sido ainda maior não fossem os problemas climáticos geradores de quebras de safras nos principais países produtores da oleaginosa (Brasil, Estados Unidos da América e Argentina), citando as safras 2008/2009 e 2011/2012 como períodos críticos em termos de produção global.

2.2 Os efeitos climáticos na produção agrícola brasileira

Pellegrino et al. (2007) comentam que as mudanças climáticas que ocorrerão no Brasil deverão ter efeitos mais danosos pela vulnerabilidade histórica que o país apresenta a desastres naturais, como secas, enchentes e deslizamentos de encostas. Ainda menciona que os modelos de previsão de mudanças climáticas do Centro de Distribuição de Dados do IPCC apresentam resultados bastante variáveis quanto ao comportamento da América do Sul. Contudo, todos preveem aumento de temperatura para todo o continente. Para a precipitação, as projeções indicam aumento em algumas regiões e diminuição em outras, podendo inclusive haver inversão em função da época do ano, além da previsão de maior frequência de fenômenos extremos que podem ser especialmente danosos para a agricultura.

Considerando que a agricultura mundial deverá ser o setor da economia mais

afetado pelas mudanças climáticas globais e que o Brasil tem papel de destaque neste setor como fornecedor de alimentos, com elevada participação no Produto Interno Bruto, importante se faz identificar quais variáveis climáticas são mais impactadas e os reflexos destas mudanças na produção agrícola. Neste contexto, Castro e Spolador (2015) avaliaram empiricamente o efeito econômico do impacto potencial do clima na agricultura dos principais estados produtores do país por meio da estimação das elasticidades entre variáveis climáticas e o valor real de produção nestes estados, sendo identificado que os impactos mais significativos foram relacionados à temperatura de magnitude superior aos de precipitação.

Costa e Abrahão (2017) em estudo sobre mudanças no regime de chuvas e quebras de safra nas culturas de soja, milho e cana-de-açúcar no Brasil entre 1990 e 2014, comentam que não há uma definição explícita de quebra de safra, mas que esta pode ser entendida como redução significativa do resultado de uma colheita, usualmente sendo medida em termos de produção total ou produtividade, em relação ao volume projetado para a safra. Como resultado, apontam que as maiores quebras de safra para a soja ocorreram no sul do Brasil e na região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), sendo que na região Sul as maiores quebras ocorreram em anos de "La Nina", como nos anos de 2008 e 2012. Para o milho, as quebras identificadas foram mais dispersas, com maior incidência no Nordeste e em menor intensidade no Sul, também reflexo dos efeitos do "La Nina". Ainda, apontam que as quebras de safra foram mais frequentes na cultura do milho, pois apresenta menor grau tecnológico empregado em relação à soja e por ser mais empregada na segunda safra, conhecida como safrinha.

Lazzari (2012)³ apud Caldas et al. (2012) comentam que a agricultura da soja no Rio Grande do Sul sofre com quebras de safra com certa frequência e que estas comumente acometem as culturas de verão. Ainda Lazzari (2012) cita que as causas destas quebras, via de regra, estão ligadas a estiagens prolongadas e cita as safras de 2004/2005 e 2011/2012 com perdas significativas em razão do clima no Rio Grande do Sul.

2.3 Os efeitos de variáveis econômicas na produção agrícola brasileira

Não somente o clima é importante ser considerado em estudos que buscam mensurar os impactos na produção agrícola e neste contexto Caldarelli e Bacchi (2012)⁴ apud Oliveira et al. (2018) demonstraram a importância de se avaliarem os impactos das variáveis econômicas na agricultura brasileira ao pesquisar, de forma mais específica, quais são os fatores que afetam as quantidades comercializadas e os preços do milho e da soja, concluindo que, dentre as variáveis macro econômicas, a taxa de juros foi a que mais influenciou os preços dos cereais no mercado internacional, enquanto que a renda foi a variável com maior impacto na determinação do consumo.

Oliveira et al. (2018) estudaram quais variáveis econômicas mais influenciaram a produção agrícola brasileira entre os anos de 1995 e 2015, mais especificamente a relação entre estas e as variações na produção de arroz, soja, milho, trigo e feijão. Para tanto, lançaram mão de uma pesquisa descritiva do tipo quantitativa que buscou descrever e interpretar um fenômeno por meio de métodos estatísticos. Especificamente utilizaram a análise de regressão linear múltipla, apoiada pela técnica por etapas (stepwise). Os resultados mostraram que as variações na produção de arroz são significativamente explicadas pelas alterações na taxa de desemprego e na renda média anual do trabalhador brasileiro. Já a variação da produção brasileira de milho é expressivamente explicada pelas modificações ocorridas no PIB e na renda média anual. A variação da produção brasileira de soja é quase totalmente explicada pelas alterações do PIB, da taxa de câmbio e da taxa SELIC. O Trigo teve sua variação na produção significativamente explicada pelas modificações ocorridas no PIB e na taxa de câmbio e por fim, as variações

³ A LAZZARI, M. R. Economia gaúcha dependente da agropecuária. Carta de Conjuntura FEE, 2012.

⁴ CALDARELLI, C. E; BACCHI, M. R. P. Fatores de influência no preço do milho no Brasil. Nova econ. 2012, vol.22, n.1, pp.141-164

na produção de feijão não foram estatisticamente explicadas pela variação de nenhuma das variáveis socioeconômicas do estudo.

Ainda Oliveira et al. (2018), ao analisar comparativamente as variações nas produções entre as culturas, concluíram que as variações na quantidade de milho produzida no Brasil são significativamente explicadas pelas variações na produção de soja. Já as variações na produção brasileira de soja são explicadas, em grande parte, pelas variações na produção de milho e trigo. Ainda, a variação na produção brasileira de trigo é fortemente associada às variações da produção de soja.

2.4 Estudos sobre previsão de quebra de safra utilizando modelos Probit

Os estudos sobre quebras de safra utilizando modelos probit, causados, dentre outros, pelos impactos dos efeitos climáticos na produção agrícola ainda são incipientes, embora outros temas relacionando a utilização de modelos probit na agricultura sejam mais comumente abordados, como no estudo de Rahman (2008), em que utiliza um modelo probit bivariado para determinar a probabilidade de produtores rurais indianos em adotar sistemas de cultivo diversificados e/ou adoção de técnicas de cultivos de arroz mais modernas.

Fahad et al. (2018) analisaram, por meio de modelos probit, os fatores que influenciam produtores rurais a adquirir seguros de safra no Paquistão, considerando a atitude ao risco e o risco de inundações como variáveis independentes. Ademais, outras variáveis, como o status da propriedade da terra, tamanho da propriedade, acesso ao crédito, acesso a fontes de informação, serviços de extensão agrícola e a distância do leito do rio, foram significativamente associados aos agregados familiares nas decisões de compra de seguro agrícola.

Mais aderente ao tema ora proposto, Chifurira (2014) utilizaram o método probit para determinar a probabilidade de ocorrência de estiagens no Zimbábue, utilizando como variável dependente o Índice de Oscilação do Sul (IOS), um indicador climático. A identificação e previsão de secas foram obtidas através da análise de séries temporais de variáveis de seca, como dados de precipitação, vazão, níveis de água subterrânea e umidade do solo em várias escalas de tempo. Os resultados mostraram que valores muito baixos do IOS para o mês de setembro precede a ocorrência de uma seca meteorológica no Zimbábue por pelo menos um ano, bem como valores negativos deste índice para o mês de setembro prediz com 67% de chance a ocorrência de seca no ano subsequente.

Cabe observar que na literatura existem outros modelos de estimação de quebra de safra, como os modelos agro meteorológicos de quebra de produtividade, como o adotado por Santos e Camargo (2006), dentre outros. Outras abordagens para modelos com resposta dicotômica também poderiam ser testadas, no entanto, não é objeto deste estudo comparar os diferentes modelos e nem esgotar a discussão acerca do tema. A escolha dos modelos probit dinâmicos permitem de maneira direta considerar a persistência temporal da probabilidade de quebra de safra, uma característica importante quando analisamos um fenômeno com períodos mensais que tem a tendência natural de durar mais que um simples período.

3. Metodologia

3.1 Base de dados

O presente estudo teve como base de dados séries temporais mensais de variáveis produtivas, climáticas e econômicas relacionadas à quatro commodities, a saber: soja, milho, algodão e trigo. A variável produção também foi utilizada para a construção das

quebras de safra. As variáveis independentes foram divididas em três grupos: variáveis ligadas à produção (custo, preço, dólar), variáveis climáticas (precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima) e macroeconômicas, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das Variáveis Utilizadas

Variável	Descrição	Variável	Descrição
<i>Dependente</i>		<i>Independentes Macro (Cont.)</i>	
Quebra de Safra	1 = presença de quebra de safra no mês/ano 0 = ausência de quebra de safra no mês/ano	ABCR	Fluxo pedagiado de veículos pesados
		ABPO	Expedição de caixas, acessórios e chapas
		Abraciclo	Produção de motocicletas
<i>Independentes - Produção</i>		ANFAVEA	Prod. autoveículos, máq. Agríc., rodoviárias
Custo Soja	Custo Operacional Médio/Mês (R\$/ha)	ANFAVEA	Prod. de automóveis e comerciais leves
Custo Milho 1ª Safra	Custo Operacional Médio/Mês (R\$/ha)	ANFAVEA	Produção de caminhões e ônibus
Custo Milho 2ª Safra	Custo Operacional Médio/Mês (R\$/ha)	Fenabrave	Licenciamento de veículos novos
Custo Algodão	Custo Operacional Médio/Mês (R\$/ha)	CNI - NUCI	Nível de Utilização da Capacidade Instalada
Custo Trigo	Custo Operacional Médio/Mês (R\$/ha)	Funcex	Exportação total
Preço interno Soja*	Preço de comercialização (R\$/Kg)	Funcex	Exportação de manufaturados
Preço interno Milho*	Preço de comercialização (R\$/Kg)	Funcex	Importação total
Preço interno Algodão*	Preço de comercialização (R\$/Kg)	Funcex	Importação de matérias primas
Preço interno Trigo*	Preço de comercialização (R\$/Kg)	FGV - ICI	Índice de confiança da Indústria
Preço externo Soja**	Preço de comercialização (Cents. US\$/Bushel)	FGV - NUCI	Nível de Utilização da Capacidade Instalada
Preço externo Milho**	Preço de comercialização (Cents. US\$/Bushel)	IAB	Produção de aço bruto
Preço externo Algodão***	Preço de comercialização (Cents. US\$/Libra.peso)	ONS	Carga de energia
Preço externo Trigo***	Preço de comercialização (Cents. US\$/Bushel)	Receita Federal IPI	Arrecadação de IPI
Câmbio	Preço do Dólar (R\$/US\$)	Receita Federal IR	Arrecadação de IR - Retido na Fonte
<i>Independentes - Ambientais</i>		Receita Federal IOF	Arrecadação de IOF
Precipitação média/mês/UF	Precipitação média mensal por UF (mm)	ABRAS	Vendas reais dos supermercados
Temperatura Máx./mês/UF	Temperatura máxima mensal por UF (°C)	CNI	Faturamento Real ind. de transformação
Temperatura. Min./mês/UF	Temperatura mínima mensal por UF (°C)	Fecomércio	Confiança do Consumidor
Número de Sinistros/UF	Nr. de acionamentos de seguros/mês/UF/cultura		
Precipitação Média BR	Precipitação média mensal Brasil (mm)		
Temperatura Máxima Média BR	Temperatura máxima média Brasil (°C)		
Temperatura Mínima Média BR	Temperatura mínima média Brasil (°C)		
Número de Sinistros BR	Nr. de acionamentos de seguros/mês/BR/cultura		
<i>Independentes - Macro</i>			
Fenabrave	Licenciamentos de automóveis e comerciais leves		
ANP	Vendas totais pelas distribuidoras		
ANP	Vendas de gasolina e etanol pelas distribuidoras		
ANP	Vendas de diesel pelas distribuidoras		
SPC	Consultas ao SPC de São Paulo		
Bacen	IBC-BR		
FGV	IIE-Br		
Pré x DI - 30 dias	Pré x DI - 30 dias		
Pré x DI - 60 dias	Pré x DI - 60 dias		
Pré x DI - 180 dias	Pré x DI - 180 dias		
Pré x DI - 360 dias	Pré x DI - 360 dias		
Pré x DI - 720 dias	Pré x DI - 720 dias		
Pré x DI - 1080 dias	Pré x DI - 1080 dias		
CDS - Brasil	CDS - Brasil		
Cambio	Real/US\$		
IPCA	IPCA		
PIM	Indústria Geral		
PMC	Índ. de vol. Vendas varejo. Índ.base fixa (2011=100)		
Recessão_CODACE****	Períodos de Recessão CODACE		

* Cepea

**Chicago Board of Trade (CBOT)

***Ice Futures (ICE)

**** Comitê de Datação de Ciclos Econômicos - Periodicidade mensal e trimestral a partir de 1980.

Fonte: Elaboração própria.

Como principais, ou mais ligadas diretamente à produção, podemos citar: custo de produção (operacional); preço interno; preço externo; câmbio (dólar); número de acionamentos de seguros (sinistro agrícola); precipitação média; temperatura máxima e temperatura mínima.

O custo de produção é uma das variáveis importantes na tomada de decisão de investir ou não no aumento da produção, muito influenciado pelo câmbio, que por sua

vez impacta principalmente o custo dos insumos (defensivos), comumente importados. Isso pode refletir em menor investimento nas lavouras, tornando-as mais suscetíveis às variações climáticas adversas, entre outros. Nesta mesma linha, os preços das commodities são impactados pelas variações na produção, com seu comportamento sendo influenciado pela maior ou menor produção em cada safra. A formação de preços é resultado do balanço de oferta e demanda e os impactos de quebras de safra são, geralmente, refletidos nos preços das commodities agrícolas. Desta forma, como o Brasil é um país notadamente exportador de produtos agrícolas, o comportamento do câmbio também é importante, seja na precificação dos produtos (paridade de exportação), seja na composição do custo dos insumos, muitas vezes importados.

O preço médio mensal interno de cada produto foi obtido com base no indicador disponibilizado pelo Centro de Pesquisas Econômicas Aplicada (Cepea/Esalq) e os preços externos foram obtidos junto às bolsas de valores de Nova Iorque (Ice Futures) e de Chicago (CBOT). Os custos médios mensais de implantação (operacional) das lavouras são provenientes de base de dados dos autores. A série de dólar foi obtida junto à base de dados do Banco Central do Brasil.

As informações referentes aos acionamentos de seguros, em função da ocorrência de sinistros, como estiagens, chuvas excessivas, geadas, entre outros, foram considerados no processo de marcação dos períodos em que foram observadas quebras de produção no horizonte analisado (2004 a 2018). Foi considerado o número de acionamentos de sinistros mensais por UF e que efetivamente resultaram em pagamento de indenizações (Seguro). Esta base de informações também faz parte da base de dados dos autores.

O comportamento das variáveis climáticas é determinante na produtividade das lavouras e tem relação direta com o sucesso ou frustração de uma safra. Como forma de incluir a variável climática no modelo, optou-se por utilizar a precipitação média mensal e temperaturas máximas e mínimas. Estas covariáveis foram obtidas por meio dos dados utilizados por Xavier et al. (2016) em estudo cujo objetivo foi desenvolver redes de alta resolução (0,25 por 0,25) de precipitação diária, evapotranspiração e outras cinco variáveis climáticas geralmente necessárias para estimar a evapotranspiração no Brasil.

3.2 Tratamento da base de dados

A amostra temporal inicia-se em março de 2004 e termina em março de 2018, com dados mensais. Todas as variáveis foram sazonalizadas sendo utilizadas na estimação dos modelos sua variação mensal, à exceção daquelas relacionadas ao clima (temperatura máxima, mínima e precipitação), IPCA e número de sinistros.

A seleção de variáveis dos modelos estimados seguiu a técnica Stepwise em modelos Probit. Conforme Franceschi (2019), a seleção de variáveis Stepwise é frequentemente utilizada combinada à Regressão Probit, na fase pré-processamento. De modo geral, trata-se de ferramenta automatizada utilizada inicialmente na construção de modelos para identificar um subconjunto útil de variáveis preditoras, adicionando ou removendo sistematicamente as variáveis, de acordo com critérios específicos, sendo que o processo segue até que cada variável que permaneça no modelo explique uma quantia parcial significativa da variável dependente. Este procedimento permite duas maneiras de seleção de variáveis: pelo nível de significância das mesmas e pelo critério de informação de Akaike - AIC. Quando pelo nível de significância, a entrada e saída das variáveis é feita utilizando o teste da razão de verossimilhança. Essa metodologia foi aplicada nesse estudo considerando o modelo estático em seu primeiro momento e utilizando estas variáveis selecionadas nas demais versões do modelo Probit.

3.2.1 Identificação dos períodos de quebra de safra

A série história de produção foi obtida junto à Companhia Nacional de Abastecimento - Conab, um dos órgãos oficiais responsáveis pelo acompanhamento da produção agrícola brasileira.

O processo de estruturação das quebras consistiu em três etapas, a saber: cronologia dos eventos noticiados das quebras de safra; análise da série histórica de produção/ produtividade, visão Brasil e visão UF; análise da série histórica do número de sinistros de seguro agrícolas (seguros - pagamento de indenizações).

Primeiramente, por meio de análise da série histórica de produção e produtividade, foram identificadas quebras de produção, sendo estas confrontadas com notícias e informativos técnicos de época, bem como em consulta à base de sinistros agrícolas utilizada. Desta forma, foi possível identificar as quebras de safra para as quatro culturas analisadas, no Brasil e por Unidade da Federação (UF), no período da amostra. A cronologia citada é pormenorizada no Apêndice. Para caracterizar a quebra de safra, foi considerada com quebra quando houve, simultaneamente, redução na produção e na produtividade e aumento no número de acionamento de seguros, com apoio da cronologia dos eventos. A presença ou ausência de quebra de safra foi marcada da seguinte forma: presença de quebra de safra (1) e ausência de quebra de safra (0).

O Índice de Hirschman-Herfindahl (IHH) permitiu identificar o grau de concentração da produção nacional das commodities analisadas no presente estudo, ao passo que embasou a escolha das UF's mais importantes em termos produção, sendo também utilizado no processo de marcação das quebras de safras nacionais (global). Especificamente, foram escolhidos os principais estados produtores de cada cultura, que juntos somam, em média, 84% da produção nacional. A quebra de safra brasileira de cada commodity foi ponderada pela participação de cada Estado na produção nacional, sendo considerado quebra nacional (global), o período em que a soma ponderada do indicador de quebra de safra (1) ou não quebra de safra (0) de cada Unidade da Federação foi igual ou superior à 30%.

3.3 Modelos probit estático e dinâmico

Neste estudo os modelos Probit, em suas versões estático e dinâmico, são adotados para medir a capacidade preditiva de quebras de safra (datadas previamente) nas treze safras brasileiras de soja, milho, algodão e trigo, compreendidas entre 2004 e 2018. Maranhão (2019) utilizou tais modelos para identificar a habilidade de predição de recessões, também marcadas previamente, em ciclos econômicos. Esta escolha remete ao exposto por Estrella and Mishkin (1998), quando afirmam que modelos para previsão de variáveis econômicas geralmente sofrem de problemas de endogeneidade mais graves do que os modelos para predição de probabilidades de recessões. Neste sentido, a probabilidade de ocorrência de uma quebra de safra é modelada em função de valores defasados de variáveis explicativas potenciais.

Assim, conforme proposto por Kauppi and Saikkonen (2008), são considerados neste trabalho quatro tipos de modelos probit: (1) modelo probit estático; (2) modelo probit dinâmico; (3) modelo probit autorregressivo; e (4) modelo probit dinâmico autorregressivo.

A variável dependente no modelo é um indicador binário de quebra de safra, que pode admitir dois valores possíveis em razão do estado das lavouras:

$$Y_t = \begin{cases} 1, & \text{se há quebra de safra no tempo } t \\ 0, & \text{se não há quebra de safra no tempo } t \end{cases}$$

Condicional na lista de informações Ω_{t-1} no tempo $t - 1$, Y_t tem a distribuição de Bernoulli, $Y_t | \Omega_{t-1} \sim B(bp)$. A esperança condicional e a probabilidade, respectivamente, dado Ω_{t-1} :

$$E_{t-1}(Y_t) = P_{t-1}(Y_t = 1) = p_t \tag{1}$$

Em modelos probit p_t refere-se à função normal padrão de distribuição cumulativa:

$$\int_{-\infty}^{\pi_t} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-z^2 / 2) dz \tag{2}$$

Onde π_t é uma função linear das variáveis explicativas. Os quatro modelos probit utilizados neste trabalho variam apenas em termos da formulação do π_t :

$$P_{t-1}(Y_t = 1) = \varphi(\pi_t) = \varphi(\alpha + \beta X_{t-k}): \text{modelo probit estático};$$

$$P_{t-1}(Y_t = 1) = \varphi(\pi_t) = \varphi(\alpha + \beta X_{t-k} + \gamma Y_{t-1}): \text{modelo probit dinâmico};$$

$$P_{t-1}(Y_t = 1) = \varphi(\pi_t) = \varphi(\alpha + \beta X_{t-k} + \delta \pi_{t-1}): \text{modelo probit autorregressivo};$$

$$P_{t-1}(Y_t = 1) = \varphi(\pi_t) = \varphi(\alpha + \beta X_{t-k} + \gamma Y_{t-1} + \delta \pi_{t-1}): \text{modelo probit dinâmico autorregressivo}.$$

Onde X refere-se às listas de variáveis explicativas. A probabilidade de quebra de safra no tempo t será estimado em $t-1$ utilizando a lista de informações de X no tempo $t-k$, $k \geq 1$. Em estudo mais recente, Dueker (1997) sugere incluir o valor defasado de Y_t no lado direito para compor o modelo probit dinâmico. Kauppi e Saikkonen (2008) estenderam o modelo probit dinâmico em dois caminhos. O primeiro, considera-se o valor defasado da função de probabilidade π_t no lado direito do modelo, pois permite dinâmicas mais ricas no processo π_t , conforme explicado, a probabilidade passada é um fator para estimar a probabilidade de futuras quebras de safra. Este tipo de modelo probit dinâmico é chamado de modelo probit autorregressivo. O quarto tipo de modelo probit refere-se ao modelo probit dinâmico autorregressivo, que é basicamente a combinação do modelo probit dinâmico e do modelo probit autorregressivo. Os parâmetros são estimados maximizando-se a função de probabilidade do log da amostra completa.

$$\ln(L(Y_t, \alpha, \beta)) = \sum_{t=1}^T [Y_t \ln(\varphi(\alpha + \beta X_{t-k})) + (1 - Y_t) \ln(1 - \varphi(\alpha + \beta X_{t-k}))] \tag{3}$$

Os parâmetros dos modelos probit dinâmicos podem ser estimados de maneira semelhante ao método da máxima verossimilhança, que será descrito abaixo. Para estimar os modelos probit autorregressivo e dinâmico autorregressivo é preciso escolher o valor inicial do π_0 . Kauppi e Saikkonen (2008) fixaram π_0 igual à média incondicional de π_t , assim:

$$\pi_0 = (\alpha + \beta \bar{X}_t) / (1 - \delta) \text{ para modelos probit autorregressivos.}$$

$$\pi_0 = (\alpha + \beta \bar{X}_t + \gamma \bar{Y}_t) / (1 - \delta) \text{ para modelos probit dinâmicos autorregressivo}$$

Onde as variáveis \bar{X}_t, \bar{Y}_t remetem à média da amostra.

3.4 Índice de Hirschman-Herfindahl

Neste trabalho optou-se por marcar as quebras de safra para as Unidades da Federação (UF) mais representativas em termos de produção estadual de soja, milho, algodão e trigo. Para isso, fez-se uso do Índice de Hirschman-Herfindahl (IHH) para testar

esta concentração. O IHH é uma medida da concentração do mercado e da concorrência entre os participantes no mercado, sendo calculado da seguinte forma:

$$IHH_k = \sum_{i=1}^N S_i^2 \quad (4)$$

Onde:

S_i = participação percentual de mercado da UF (i) na produção nacional da commodity;
 k = culturas, $k = 1, \dots, 5$.

O valor do índice varia entre $1/n$ (limite inferior) com participações iguais de cada região e 1 (concentração máxima), quando há uma situação concentração máxima.

Desta forma o IHH irá variar entre 0 e 1 e à medida que o índice se afasta de zero, a concentração de mercado é maior. A escala adotada pelo autor remete à seguinte distribuição:

- IHH variando entre 0 e 0,10: mercado é altamente competitivo;
- IHH variando entre 0,10 e 0,15: mercado não concentrado;
- IHH variando entre 0,15 e 0,25: mercado com concentração moderada;
- IHH acima de 0,25: mercado com alta concentração.

Foram consideradas na análise as Unidades da Federação que representam juntas, em média, 84% da produção nacional de cada commodity citada na safra 2018/19. O IHH também foi utilizado para ponderar o impacto das quebras de safras regionais na produção nacional de cada commodity. O IHH foi adotado no presente estudo para analisar o grau de concentração da produção das commodities soja, milho, algodão e trigo por Unidade da Federação, sendo este utilizado como critério para justificar a escolha dos principais estados produtores (Vide Tabelas 6 a 10 no Apêndice). Neste sentido, a Tabela 2 apresenta os resultados do índice IHH para análise da concentração de mercado.

Tabela 2. IHH da produção nacional das commodities analisadas na Safra 2018/19

Cultura	Índice Herfindahl-Hirschman - IHH
Algodão	0,51
Trigo	0,40
Milho 2ª Safra (Safrinha)	0,25
Soja	0,15
Milho 1ª Safra (Verão)	0,13

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 2 é possível observar que as produções de algodão, trigo e milho verão apresentam, conforme aponta o índice, uma alta concentração de mercado. A produção do algodão está concentrada nos estados do Mato Grosso e Bahia, que juntos respondem por 89% da safra 2018/19. Já a produção do trigo está concentrada nos estados da região Sul do Brasil, com Paraná e Rio Grande do Sul respondendo por 87% da produção nacional. O cultivo do milho safrinha concentra-se nos estados do Mato Grosso, Goiás, Paraná e Mato Grosso do Sul, que juntos produzem 87% do cereal produzido internamente.

Já a soja está no limite inferior da escala que classifica um mercado com concentração moderada, enquanto o milho verão, por ter uma produção mais dispersa entre os estados, possui o menor IHH (0,13), sendo classificado então como um mercado não concentrado. Os estados com maior participação na produção de soja foram o Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Bahia, que produzem 81% da soja brasileira.

Dentre os estados com maior participação na produção do milho verão, destaque

para o Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, Goiás e São Paulo, com 80% da produção nacional. Observa-se assim, que a região Centro-Sul concentra a produção nacional das commodities analisadas neste estudo. Maior detalhamento pode ser visualizado por meio das Tabelas 6 a 10 do Apêndice.

3.5 Análise exploratória das variações das principais variáveis utilizadas

Na análise descritiva das covariáveis utilizou-se a quebra de safra para analisar as primeiras diferenças gerais das principais variáveis elencadas na seção 3.1. Neste estudo foram utilizadas 63 covariáveis independentes.

As Tabelas 3 a 7 apresentam o resumo da estatística exploratória das principais variáveis utilizadas em nível, períodos sem quebra de safra e por fim os períodos marcados com quebra de safra. As mesmas estatísticas, considerando as variações, são apresentadas no Apêndice.

A análise exploratória das covariáveis para a cultura da soja mostra que, à exceção do preço externo, os valores médios foram superiores nos períodos de quebra de safra comparativamente aos períodos sem quebra de safra. No entanto, o coeficiente de variação foi menor em períodos de quebra de safra, indicando concentração dos valores em torno de suas médias.

A média de preços internos, como dito, foi superior em períodos de quebra de safra. A redução da quantidade produzida ocasionada pela quebra de safra, pode ser uma das razões para a elevação de seus preços internos.

A assimetria nos períodos de quebra de safra mostrou, para as variáveis climáticas (temperatura máxima, mínima e precipitação), valores positivos, ou seja, que os valores das medianas são superiores às médias, o que sugere que nos períodos de quebra, as condições climáticas são mais extremas.

A quebra de safra de soja está associada a um câmbio mais desvalorizado, uma elevação nos custos de produção e com temperaturas mais altas (tanto temperaturas máximas, quanto temperaturas mínimas), além de um maior nível de precipitação.

Observamos uma acentuada elevação no número de acionamento de seguros nos períodos de quebra de safra. O dólar apresentou assimetria positiva em períodos sem quebra de safra. Estes valores de assimetria encontrados para a relação real/dólar estão de acordo com o a tendência encontrada por de Castro (2002), em estudo que conclui que nas séries analisadas de dólar houve sistematicamente a presença de assimetria positiva e bem maiores que zero (Tabela 3). A desvalorização cambial favorece a cadeia produtiva da soja, uma vez que grande parte do volume produzido é exportado. Por outro lado, encarece o valor dos insumos necessários à produção, grande parte importado. O câmbio, ajuda a explicar o porquê dos custos de produção superiores em períodos marcados com quebra de safra. Outras razões podem estar relacionadas à atrasos no plantio e/ou colheita em virtude das covariáveis clima, como já mencionado.

Assim, como verificado para a soja, as variáveis analisadas para o Milho 1ª Safra (milho verão) apresentaram menor coeficiente de variação nos períodos de quebra de safra, conforme Tabela 4.

Tabela 3. Estatística exploratória das principais covariáveis - Soja - Período (mar/2004 a mar/2018)

Soja geral 169 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1174,98	1107,96	27,34	-0,54	0,80	760,57	1822,81
Preço Interno	0,89	0,83	34,84	-1,26	0,09	0,45	1,59
Preço Externo	1035,34	994,60	28,14	-0,76	0,06	516,40	1695,29
Dólar	2,38	2,21	26,53	-0,40	0,78	1,55	4,02
Precipitação	124,15	120,68	43,33	-0,62	0,12	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,33	28,78	6,86	-0,81	-0,54	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,13	17,68	15,14	-1,13	-0,34	11,45	21,99
Nr. Sinistros	175,86	13,00	204,14	13,03	3,23	0,00	2498,00

Soja (sem quebra) 164 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Variância	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1167,52	1105,64	27,29	-0,41	0,85	760,57	1822,81
Preço Interno	0,89	0,83	35,04	-1,25	0,11	0,45	1,59
Preço Externo	1035,80	995,47	28,40	-0,79	0,05	516,40	1695,29
Dólar	2,36	2,21	25,56	-0,46	0,74	1,55	3,96
Precipitação	122,86	119,73	43,80	-0,61	0,15	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,27	28,73	6,86	-0,85	-0,51	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,05	17,56	15,20	-1,16	-0,30	11,45	21,99
Número de Sinistros	155,37	10,00	217,13	17,68	3,72	0,00	2498,00

Soja (com quebra) 5 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Variância	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1419,58	1655,93	24,56	-3,33	-0,60	1037,20	1685,14
Preço Interno	1,11	1,24	24,12	-3,09	-0,46	0,82	1,38
Preço Externo	1020,08	890,91	18,82	-3,06	0,65	871,26	1256,15
Dólar	3,01	3,59	39,24	-3,23	-0,52	1,72	4,02
Precipitação	166,36	164,12	21,35	0,83	1,03	133,46	221,72
Temperatura Máxima	30,27	30,13	2,56	-2,96	0,24	29,52	31,14
Temperatura Mínima	19,59	19,37	4,46	0,05	0,96	18,77	20,91
Número de Sinistros	848,00	1040,00	51,93	-1,43	-0,63	239,00	1314,00

Nota: Custo de Produção (R\$/ha); Preço Interno (R\$/kg); Preço Externo (R\$/t); Dólar (R\$/US\$); Precipitação (mm); Temperaturas Máxima e Mínima (oC)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4. Estatística exploratória das principais covariáveis - Milho 1a Safra - Período (mar/2004 a mar/2018)

Milho 1ª Safra Geral 169 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1608,24	1564,54	28,70	-1,22	0,28	963,67	2398,64
Preço Interno	0,44	0,43	28,48	0,96	0,94	0,24	0,86
Preço Externo	421,33	373,81	36,75	-0,36	0,71	192,89	803,54
Dólar	2,38	2,21	26,53	-0,40	0,78	1,55	4,02
Precipitação	124,15	120,68	43,33	-0,62	0,12	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,33	28,78	6,86	-0,81	-0,54	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,13	17,68	15,14	-1,13	-0,34	11,45	21,99
Nr. Sinistros	145,60	6,00	192,47	7,29	2,64	0,00	1459,00

Milho 1ª Safra (sem quebra) 158 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Variância	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1582,85	1489,26	29,04	-1,17	0,36	963,67	2398,64
Preço Interno	0,44	0,42	29,26	1,02	1,01	0,24	0,86
Preço Externo	420,22	373,82	37,43	-0,38	0,71	192,89	803,54
Dólar	2,35	2,21	25,61	-0,32	0,78	1,55	4,02
Precipitação	122,49	118,68	44,68	-0,68	0,17	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,31	28,80	7,03	-0,91	-0,50	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,07	17,57	15,57	-1,23	-0,29	11,45	21,99
Número de Sinistros	134,28	3,00	206,87	8,37	2,82	0,00	1459,00

Milho 1ª Safra (com quebra) 11 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Variância	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1972,92	2116,24	16,59	-2,22	-0,08	1600,58	2341,61
Preço Interno	0,49	0,52	14,29	1,04	-1,38	0,34	0,56
Preço Externo	437,29	373,81	27,23	-0,79	1,11	343,27	630,86
Dólar	2,84	3,16	30,98	-1,87	-0,03	1,75	3,95
Precipitação	147,96	140,39	20,60	3,04	1,31	107,44	221,72
Temperatura Máxima	28,62	28,65	3,82	2,15	-1,40	26,03	29,72
Temperatura Mínima	17,90	17,81	6,49	-1,35	-0,10	16,18	19,44
Número de Sinistros	308,09	187,00	89,88	1,42	1,39	28,00	930,00

Nota: Custo de Produção (R\$/ha); Preço Interno (R\$/kg); Preço Externo (R\$/t); Dólar (R\$/US\$); Precipitação (mm); Temperaturas Máx e Mín (oC).

Fonte: Elaboração própria.

No tocante aos valores médios das variáveis climáticas, a precipitação média foi a que apresentou maior diferença entre os períodos sem quebra de safra e com quebra de safra. Os períodos com quebra de safra apresentaram valor médio de precipitação cerca de 17% superior ao período sem quebra de safra. Ressaltamos que umas das principais causas relacionadas à produção do milho verão são as estiagens, comuns principalmente nos estados da região Sul do Brasil, responsável por mais de 40% da produção nacional.

O número médio de sinistros em períodos de quebra de safra, assim como verificado para a soja, foi superior ao observado em períodos sem quebra de safra. No caso do milho verão, o número médio de acionamentos de seguros foi 2,3 vezes superior.

Analisando a Tabela 5 temos as covariáveis do milho de 2ª Safra (milho safrinha), que possui cultivo concentrado nos estados do Mato Grosso e Paraná, observa-se que ao contrário do observado para o milho verão, os valores médios de precipitação nos períodos com quebra de safra reduziram em comparação aos períodos de produção normal, corroborando com o que se observa em períodos mais secos durante o plantio/desenvolvimento do milho safrinha no outono, em especial no estado do Paraná. No entanto, como o estado do Mato Grosso representa mais de 40% da produção nacional e possui um clima relativamente estável, os efeitos em termos de quebra de safra são menores. O número médio de sinistros nos períodos com quebra de safra no milho safrinha, apesar de maior ante os períodos sem quebra de safra, apresenta-se menor comparativamente à soja e ao milho verão, corroborando com o clima mais estável do Mato Grosso.

Tabela 5. Estatística exploratória das principais covariáveis - Milho 2a Safra - Período (mar/2004 a mar/2018)

Milho 2ª Safra Geral		169 observações					
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1150,28	1027,29	30,57	-1,12	0,50	712,52	1795,47
Preço Interno	0,44	0,43	28,48	0,96	0,94	0,24	0,86
Preço Externo	421,33	373,81	36,75	-0,36	0,71	192,89	803,54
Dólar	2,38	2,21	26,53	-0,40	0,78	1,55	4,02
Precipitação	124,15	120,68	43,33	-0,62	0,12	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,33	28,78	6,86	-0,81	-0,54	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,13	17,68	15,14	-1,13	-0,34	11,45	21,99
Número de Sinistros	115,95	0,00	222,82	8,66	2,87	0,00	1516,00

Milho 2ª Safra (sem quebra)		165 observações					
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1137,32	1021,96	30,39	-1,00	0,56	712,52	1795,47
Preço Interno	0,43	0,43	27,25	0,61	0,81	0,24	0,82
Preço Externo	422,33	373,70	37,08	-0,44	0,69	192,89	803,54
Dólar	2,35	2,20	25,68	-0,30	0,80	1,55	4,02
Precipitação	124,32	120,68	43,75	-0,67	0,11	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,33	28,81	6,91	-0,83	-0,55	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,14	17,76	15,30	-1,17	-0,35	11,45	21,99
Número de Sinistros	114,93	0,00	226,54	8,64	2,88	0,00	1516,00

Milho 2ª Safra (com quebra)		4 observações					
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1684,86	1691,86	3,12	-4,55	-0,25	1626,05	1729,68
Preço Interno	0,68	0,68	25,87	-5,57	0,03	0,52	0,86
Preço Externo	379,95	378,37	2,22	-2,29	0,63	372,55	390,51
Dólar	3,71	3,73	6,29	-2,79	-0,33	3,44	3,95
Precipitação	117,16	114,09	13,62	-0,71	0,83	102,38	138,09
Temperatura Máxima	28,00	27,81	4,31	1,96	0,92	26,74	29,65
Temperatura Mínima	16,80	16,73	3,75	-3,58	0,34	16,20	17,53
Número de Sinistros	158,25	124,50	109,63	-1,06	0,80	0,00	384,00

Nota: Custo de Produção (R\$/ha); Preço Interno (R\$/kg); Preço Externo (R\$/t); Dólar (R\$/US\$); Precipitação (mm); Temperaturas Máxima e Mínima (oC).

Fonte: Elaboração própria.

Assim como observado no milho verão, o coeficiente de variação das covariáveis do milho safrinha nos períodos de quebra foram inferiores em comparação aos períodos sem quebra de safra, indicando maior homogeneidade entre as observações.

O câmbio, com a desvalorização do Real nos períodos de quebra de safra, apresentou a mesma tendência observada nas demais culturas já apresentadas. Uma explicação está no fato do Brasil ser um grande exportador de grãos e de outras commodities agrícolas, com participação expressiva no Produto Interno Bruto nacional.

A Tabela 6 apresenta os resultados das principais covariáveis do algodão. A produção da pluma majoritariamente se concentra nos estados do Mato Grosso e Bahia. O Mato Grosso, em especial, apresenta clima relativamente estável e não possui histórico de frequentes adversidades que tenham implicado em quebras de safra significativas. Esse fato é refletido no baixo número médio de acionamento de sinistro observado ao longo de toda série analisada no estudo. Essa é uma das razões para que a demanda por seguros para a atividade seja menor que nas demais culturas ora analisadas. Outra razão para este fato está ligada ao tipo predominante da atividade, considerada empresarial, a qual tem por característica produtores mais capitalizados e menos dependentes de recursos para custeio e seguro agrícola. Dessa forma, temos nas quebras de safra um cenário com preços internos mais altos, preços externos menores e desvalorização cambial. Nas quebras de safra do algodão temos condições climáticas com temperaturas mais elevadas e maior precipitação.

Tabela 6. Estatística exploratória das principais covariáveis - Algodão - Período (mar/2004 a mar/2018)

Algodão Geral 169 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	4134,80	3928,07	19,79	-0,60	0,82	3115,56	5871,12
Preço Interno	3,62	3,31	33,13	0,69	0,96	2,10	7,95
Preço Externo	72,20	68,68	28,72	6,52	2,11	44,00	173,93
Dólar	2,38	2,21	26,53	-0,40	0,78	1,55	4,02
Precipitação	124,15	120,68	43,33	-0,62	0,12	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,33	28,78	6,86	-0,81	-0,54	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,13	17,68	15,14	-1,13	-0,34	11,45	21,99
Número de Sinistros	0,26	0,00	506,85	94,86	8,99	0,00	15,00

Algodão (sem quebra) 165 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	4103,69	3875,77	19,57	-0,37	0,90	3115,56	5871,12
Preço Interno	3,58	3,31	33,28	0,93	1,04	2,10	7,95
Preço Externo	72,49	69,01	28,84	6,33	2,07	44,00	173,93
Dólar	2,35	2,20	25,55	-0,39	0,77	1,55	3,96
Precipitação	123,54	119,96	43,87	-0,64	0,15	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,28	28,73	6,88	-0,84	-0,51	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,08	17,58	15,22	-1,16	-0,32	11,45	21,99
Número de Sinistros	0,14	0,00	425,87	38,74	5,79	0,00	5,00

Algodão (com quebra) 4 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	5417,92	5417,90	0,16	-1,22	0,01	5407,86	5428,02
Preço Interno	5,01	5,00	2,67	-5,08	0,16	4,90	5,15
Preço Externo	60,25	60,42	3,89	0,04	-0,39	57,30	62,85
Dólar	3,76	3,80	7,77	-4,58	-0,24	3,44	4,02
Precipitação	149,34	150,89	16,50	-3,04	-0,23	120,74	174,83
Temperatura Máxima	30,09	29,89	2,21	0,89	1,27	29,56	31,01
Temperatura Mínima	19,04	18,85	7,35	1,78	0,78	17,53	20,91
Número de Sinistros	5,25	2,50	126,71	3,00	1,75	1,00	15,00

Nota: Custo de Produção (R\$/ha); Preço Interno (R\$/kg); Preço Externo (R\$/t); Dólar (R\$/US\$); Precipitação (mm); Temperaturas Máxima e Mínima (°C).

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se ainda, na Tabela 6, que o custo médio de produção nos períodos de quebra de safra foi 24,25% superior ao custo médio nos períodos sem quebra de safra.

A mesma observação feita anteriormente para o câmbio no milho, vale para o algodão, ou seja, o dólar também se valorizou ante a moeda brasileira nos períodos de menor produção. Essa valorização, por sua vez reflete no custo de produção, o qual é dolarizado em mais da metade do valor.

O trigo apresentou, conforme a Tabela 7, em períodos com quebra de safra, custo de produção médio superior. No entanto, diferente das demais commodities analisadas, apresentou preço interno ligeiramente inferior e número de sinistros inferior aos demais cenários analisados (geral e sem quebra de safra). Isso ocorre em razão da defasagem no acionamento dos seguros em razão das características da cultura. Podemos observar na quebra de safra de trigo, uma redução acentuada das temperaturas, bem como da precipitação, diferente das demais culturas, não parece haver evidências de efeitos cambiais.

Tabela 7: Estatística exploratória das principais covariáveis - Trigo - Período (mar/2004 a mar/2018)

Trigo Geral 169 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1050,67	1031,75	20,33	-1,34	0,27	732,45	1425,81
Preço Interno	0,56	0,53	26,23	-0,42	0,53	0,32	0,97
Preço Externo	554,91	512,88	30,49	-0,37	0,55	289,75	1073,00
Dólar	2,38	2,21	26,53	-0,40	0,78	1,55	4,02
Precipitação	124,15	120,68	43,33	-0,62	0,12	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,33	28,78	6,86	-0,81	-0,54	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,13	17,68	15,14	-1,13	-0,34	11,45	21,99
Número de Sinistros	180,86	0,00	343,94	20,90	4,45	0,00	4154,00

Trigo (sem quebra) 139 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1040,23	1024,46	20,36	-1,28	0,36	754,73	1425,81
Preço Interno	0,57	0,53	27,39	-0,68	0,48	0,32	0,97
Preço Externo	558,41	524,25	30,45	-0,36	0,44	289,75	1073,00
Dólar	2,38	2,23	26,31	0,00	0,92	1,57	4,02
Precipitação	129,20	130,96	41,89	-0,63	0,06	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,57	29,06	6,53	-0,52	-0,70	24,15	31,38
Temperatura Mínima	17,44	18,23	14,47	-0,88	-0,52	11,45	21,99
Número de Sinistros	212,06	0,00	321,31	16,58	4,00	0,00	4154,00

Trigo (com quebra) 30 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	1099,05	1076,20	19,91	-1,36	-0,12	732,45	1385,26
Preço Interno	0,53	0,52	18,07	-0,66	-0,48	0,34	0,67
Preço Externo	538,68	464,25	31,06	0,01	1,15	346,25	895,63
Dólar	2,42	2,13	27,91	-1,77	0,23	1,55	3,31
Precipitação	100,74	94,19	45,89	-0,82	0,14	20,30	186,41
Temperatura Máxima	27,22	27,32	7,14	-0,98	0,13	23,94	30,81
Temperatura Mínima	15,69	14,86	15,68	-1,14	0,41	12,30	20,37
Número de Sinistros	36,30	0,00	215,64	7,15	2,68	0,00	327,00

Nota: Custo de Produção (R\$/ha); Preço Interno (R\$/kg); Preço Externo (R\$/t); Dólar (R\$/US\$); Precipitação (mm); Temperaturas Máxima e Mínima (oC).

Fonte: Elaboração própria.

4. Resultados

4.1 Resultados do modelo probit

Conforme descrito na metodologia, foram estimadas quatro variantes de modelos Probit, a saber: estático, dinâmico, autorregressivo e dinâmico autorregressivo.

A Tabela 8 apresenta os resultados dos modelos estimados dos modelos Probit para a cultura da soja. Observa-se que o modelo que apresentou o melhor percentual de acerto e menor percentual de falso-positivos foi o modelo Probit Dinâmico Autorregressivo, com 97,04% de acerto considerando a probabilidade média para marcação de ocorrência de quebra de safra. Esse modelo ainda apresentou o menor percentual de de falso-positivo

de 2,96%. Ademais, possui os maiores R^2 MacFadden e R^2 Estrella entre os modelos testados. No entanto, ao observar o teste de Wald, o qual refere-se ao teste de validação global do modelo, percebe-se que este não é estatisticamente significativo ao nível de 5%. Neste caso, verifica-se que o modelo Probit Estático, apesar de apresentar menor percentual de acerto (89,35%) e maior percentual de falso-positivos (10,65%), apresenta teste de Wald com p-valor estatisticamente significativo ao nível de 5% (1,82%), e, portanto, foi selecionado como modelo padrão para essa cultura.

Desta forma, o melhor modelo para a cultura da soja, dentre os estimados, é o Estático, que ainda apresenta leve melhora nos coeficientes de determinação de McFadden e Estrella, respectivamente de 65,08% e 58,58%.

Tabela 8. Resultados da estimação dentro da amostra para vários modelos Probit - Quebras de Safra Soja

Resultados / Variáveis	Estático			Dinâmico			Auto-regressivo			Dinâmico Auto-regressivo		
	Coef.	EP	P-valor	Coef.	EP	P-valor	Coef.	EP	P-valor	Coef.	EP	P-valor
Intercept	-87,03	37,29	0,04	-30,42	16,06	0,08	-35,70	25,24	0,18	-29,90	15,31	0,07
Q_soja_t1				2,82	1,21	0,04				3,14	1,60	0,07
PRED_Yt1							3,56	1,65	0,05	-0,43	0,22	0,07
NRS_SOJA	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,58
PREC_BRASIL	-0,07	0,02	0,01	-0,02	0,01	0,04	-0,03	0,01	0,03	-0,02	0,01	0,08
TEMP_MAX	-2,90	1,16	0,03	1,06	0,56	0,08	1,27	1,03	0,24	1,04	0,56	0,09
TEMP_MIN	8,49	3,87	0,05	-0,11	0,10	0,29	-0,13	0,07	0,08	-0,11	0,05	0,05
C_SOJA	77,28	35,74	0,05	-17,63	22,97	0,46	-20,55	23,86	0,41	-17,29	23,12	0,47
P_SOJA	16,08	7,44	0,05	11,89	11,72	0,33	10,11	11,02	0,38	11,90	6,38	0,08
ABRAS	184,70	91,36	0,07	-13,12	35,40	0,72	-5,31	36,71	0,89	-13,37	35,12	0,71
CAMBIO	-195,09	96,15	0,07	-10,54	5,25	0,07	-6,92	3,71	0,09	-10,92	6,00	0,09
PIM	62,80	31,50	0,07	-3,84	36,69	0,92	-3,80	41,02	0,93	-3,62	36,50	0,92
PMC	-46,30	23,08	0,07	40,22	21,24	0,08	42,40	32,54	0,22	39,78	32,60	0,24
Rec_CODACE	11,26	5,50	0,07	1,39	0,70	0,07	1,67	0,91	0,09	1,36	0,69	0,07
LNL			-5,42			-8,03			-8,41			-8,03
R2MacFadden			0,65			0,63			0,63			0,64
R2Estrella			0,59			0,58			0,56			0,58
AIC			27,84			42,07			42,82			44,06
SC			65,40			82,68			83,44			87,79
Likelihood Ratio			0,00			0,00			0,01			0,01
Score			0,00			0,00			0,00			0,00
Wald			0,02			0,01			0,03			0,05
% de acerto (prob. média)			0,89			0,89			0,91			0,97
% de acerto (prob. mediana)			0,89			0,89			0,91			0,97
% de falso-positivo (prob. média)			0,11			0,11			0,09			0,03
% de falso-positivo (prob. mediana)			0,11			0,11			0,09			0,03

Nota: Estimativa dentro da amostra (mar/04 a mar/18) para vários modelos probit. S α e o termo constante. Observar a tabela de descrição das outras variáveis exploratórias. LNL é a função log-likelihood. R 2 [McFadden] e R 2 [Estrella] são pseudo R 2 ajustados, respectivamente. AIC e SC são os critérios de informação Akaike e Schwarz, respectivamente. Likelihood, Wald e Score são testes de estimação de modelos. As quatro últimas linhas da tabela são referentes aos percentuais de acerto dos modelos para a quebra de safra, utilizando a probabilidade média e a probabilidade mediana.

Fonte: Elaboração própria.

Em relação às covariáveis do modelo Estático, observa-se que todas são estatisticamente significativas ao nível de 10%. Em principal, o modelo aponta que o aumento na precipitação média reduz a probabilidade de quebra de safra. O mesmo ocorre para a variável temperatura máxima, em que a probabilidade de quebra de safra diminui à medida que ocorre o aumento nas temperaturas máximas. Já o coeficiente da variável temperatura mínima indica que há maior probabilidade de quebra de safra com o aumento da temperatura mínima, ou seja, invernos mais severos ampliam a probabilidade de quebra de safra.

Assim, podemos interpretar que chuvas e temperaturas quentes (não em excesso) são favoráveis ao desenvolvimento das lavouras de soja, enquanto temperaturas frias, normalmente acompanhadas de clima seco favorecem o aparecimento de problemas na produção, problemas estes normalmente relacionados ao fenômeno "La Nina", que

causa redução de temperaturas e estiagens regionalizadas.

Tanto preço interno quanto custo de produção apresentaram coeficientes positivos, ou seja, aumentos nestas variáveis aumentam a probabilidade de quebra de safra em $t+1$. A variável referente à recessão CODACE também aponta recessões econômicas aumentam a probabilidade de quebra de safra. O câmbio apresentou coeficiente negativo, ou seja, desvalorizações cambiais reduzem a probabilidade de quebra de safra. Observamos uma maior probabilidade de quebra de safra na medida em que se aumenta o número de acionamento de sinistro dessa cultura.

Para o Milho 1ª Safra, o modelo com o melhor percentual de acerto e menor percentual de falso-positivos foi o modelo Probit Dinâmico Autorregressivo, com 76,92% de acerto, considerando a probabilidade média para marcação de ocorrência de quebra de safra, com percentual de de falso-positivo de 22,49%. Da mesma forma, apresenta os maiores $R^2_{MacFadden}$ e $R^2_{Estrella}$ entre os modelos testados. No entanto, ao observar os testes de validação global do modelo, percebe-se que o modelo Probit Dinâmico apresentou melhores resultados, além de apresentar maior número de variáveis com p-valor estatisticamente significativos ao nível de 10%. Assim, verifica-se que o modelo Probit Dinâmico, apesar de apresentar menor percentual de acerto (73,37%) e maior percentual de falso-positivos (24,85%), comparativamente ao Modelo Dinâmico Autorregressivo, apresenta testes de validação e número maior de variáveis significativas ao nível de 10%, ou seja, indicando que são importantes para explicar a probabilidade de quebra de safra. A Tabela 9 apresenta os resultados da estimação dos modelos Probit para o Milho 1ª Safra.

Tabela 9. Resultados da estimação dentro da amostra para vários modelos Probit - Quebras de Safra Milho 1ª Safra

Resultados / Variáveis	Estático			Dinâmico			Autorregressivo			Dinâmico Autorregressivo		
	Coef.	EP	P-valor	Coef.	EP	P-valor	Coef.	EP	P-valor	Coef.	EP	P-valor
alpha	-3,16	0,70	0,00	-3,08	0,79	0,01	-3,29	0,84	0,00	-3,65	1,08	0,00
Q_MILHO1T1				2,53	0,56	0,00				2,64	0,57	0,00
PRED_YT1							-2,78	3,42	0,42	-5,41	2,70	0,09
NRS_MILHO1	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,61
PREC_BRASIL	0,01	0,00	0,04	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,06
P_MILHO_CBOT	-4,15	1,88	0,08	-1,08	0,50	0,07	-6,03	4,43	0,17	-5,82	2,50	0,05
CAMBIO	9,11	4,54	0,04	-4,88	2,13	0,06	5,60	7,23	0,44	4,11	8,78	0,65
PMC	24,35	10,19	0,06	-12,39	5,36	0,06	6,39	15,92	0,69	-6,03	2,30	0,03
LNL			-31,94			-23,23			-35,67			-22,26
R2MacFadden			0,21			0,43						0,45
R2Estrella			0,19			0,39			0,11			0,41
AIC			75,88			60,45			85,35			60,52
SC			94,66			82,32			107,21			85,51
Likelihood Ratio			0,00			0,00			0,13			0,00
Score			0,00			0,00			0,27			0,00
Wald			0,02			0,00			0,36			0,02
% de acerto (prob. média)			0,74			0,73			0,74			0,77
% de acerto (prob. mediana)			0,57			0,57			0,57			0,57
% de falso-positivo (prob. média)			0,25			0,25			0,24			0,22
% de falso-positivo (prob. mediana)			0,43			0,43			0,43			0,43

Nota: Estimativa dentro da amostra (mar/04 a mar/18) para vários modelos probit. S'alpha\$ é o termo constante. Observar a tabela de descrição das outras variáveis exploratórias. LNL é a função log-likelihood. $R^2_{MacFadden}$ e $R^2_{Estrella}$ são pseudo R^2 ajustados, respectivamente. AIC e SC são os critérios de informação Akaike e Schwarz, respectivamente. Likelihood, Wald e Score são testes de estimação de modelos. As quatro últimas linhas da tabela são referentes aos percentuais de acerto dos modelos para a quebra de safra, utilizando a probabilidade média e a probabilidade mediana.

Fonte: Elaboração própria.

O coeficiente da covariável precipitação média indica uma maior probabilidade de quebra de safra com o aumento na precipitação média. A variação do preço externo do milho e da Pesquisa Mensal do Comércio - PMC, apresentaram coeficientes negativos no modelo, indicando menor probabilidade média de quebra de safra diante de aumentos

médios dessas covariáveis. Observamos que desvalorizações cambiais estão associadas a aumentos na probabilidade média de quebra milho 1ª safra, considerando que o Brasil é o terceiro maior produtor mundial da commodity.

Todas as três covariáveis, com o incremento nos seus indicadores, reduzem a probabilidade de quebra de safra em t+1, pois dentre outros, aumentam as receitas da cultura, movimentam a economia varejista e possibilitam melhores condições aos produtores para investimento nas lavouras, como proteção. Essa proteção, por consequência, mitiga eventuais problemas durante o desenvolvimento da produção. A Tabela 10 apresenta os resultados da estimação dos modelos Probit para o milho de segunda safra, popularmente chamado de milho safrinha.

Tabela 10. Resultados da estimação dentro da amostra para vários modelos Probit - Quebras de Safra Milho 2ª Safra

Resultados / Variáveis	Estático			Dinâmico			Autorregressivo			Dinâmico Autorregressivo		
	Coef.	SE	P-valor	Coef.	SE	P-valor	Coef.	SE	P-valor	Coef.	SE	P-valor
alpha	2,58	1,14	0,06	13,30	5,04	0,03	15,86	5,59	0,02	50,29	26,53	0,06
Q_MILHO2T1				3,83	1,36	0,02				-221,85	122,30	0,07
PRED_YT1							5,53	2,22	0,04	247,31	134,92	0,07
NRS_MILHO1	0,01	0,01	0,08	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,03	-0,01	0,01	0,10
TEMP_MAX	-0,99	0,44	0,06	-0,88	0,41	0,07	-1,04	0,40	0,03	-2,68	1,30	0,04
C_MILHO2	111,55	65,85	0,09	-1,87	103,06	0,99	15,77	124,28	0,90	22,69	83,43	0,79
P_MILHO	69,89	41,33	0,09	-3,12	1,37	0,05	-13,41	6,45	0,07	-52,33	35,09	0,14
ABRAS	197,98	120,36	0,10	-48,01	49,40	0,33	-62,59	32,20	0,09	-201,27	107,89	0,06
PMC	137,31	68,35	0,08	106,29	92,50	0,25	119,54	61,80	0,09	240,76	159,64	0,13
Rec_CODACE	11,88	6,49	0,07	8,17	242,75	0,97	9,27	4,16	0,06	17,95	8,39	0,03
LNL			-5,22			-5,55			-5,22			-6,21
R2MacFadden			0,72			0,71			0,72			0,67
R2Estrella			0,65			0,64			0,64			0,60
AIC			16,43			29,10			28,72			22,41
SC			41,47			57,21			56,84			42,93
Likelihood Ratio			0,00			0,00			0,00			0,00
Score			0,00			0,00			0,00			0,00
Wald			0,00			0,00			0,00			0,00
% de acerto (prob. média)			0,88			0,89			0,96			0,94
% de acerto (prob. mediana)			0,88			0,89			0,96			0,94
% de falso-positivo (prob. média)			0,12			0,11			0,04			0,06
% de falso-positivo (prob. mediana)			0,12			0,11			0,04			0,06

Nota: Estimativa dentro da amostra (mar'04 a mar'18) para vários modelos probit. S'alpha5 é o termo constante. Observar a tabela de descrição das outras variáveis exploratórias. LNL é a função log-likelihood, R² [MacFadden] e R² [Estrella] são pseudo R² ajustados, respectivamente. AIC e SC são os critérios de informação Akaike e Schwarz, respectivamente. Likelihood, Wald e Score são testes de estimação de modelos. As quatro últimas linhas da tabela são referentes aos percentuais de acerto dos modelos para a quebra de safra, utilizando a probabilidade média e a probabilidade mediana.

Fonte: Elaboração própria.

Para o Milho 2ª Safra, o modelo que apresentou o melhor percentual de acerto e menor percentual de falso-positivos foi o modelo Probit Autorregressivo, com 96,45% de acerto considerando a probabilidade média para marcação de ocorrência de quebra de safra, com o menor percentual de falso-positivo de 3,55%. O teste de Wald indica validade global do modelo ao nível de significância de 1%. Apresenta o segundo maior $R^2_{MacFadden}$ e $R^2_{Estrella}$ entre os modelos testados e teve o segundo maior número de covariáveis estatisticamente significativas ao nível de 10%. O modelo Estático também apresentou bons resultados, porém não foi escolhido por apresentar menores valores de percentual de acerto, mas, principalmente, pelo elevado valor percentual de falso-positivos.

As covariáveis explicativas estimadas no modelo escolhido (Probit Auto-regressivo) são estatisticamente significativas ao nível de 10%, à exceção do custo de produção, que apresentou p-valor de 0,9021. O preço interno do milho apresentou sinal negativo em seu coeficiente, indicando menor probabilidade de quebra de safra com o aumento dos preços internos. O índice ABRAS, que mede o nível de atividade em supermercados,

apresentou coeficiente negativo, o que indica que expansões nas atividades de supermercados reduzem a probabilidade de quebra de safra. Contudo, o coeficiente da PMC tem valor positivo, o que indica expansões do comércio geral, aumentam a probabilidade de quebra de safra. Considerando recessões econômicas, a probabilidade de quebra de safra tende a aumentar em períodos que sucedem uma recessão. A Tabela 11 apresenta os resultados dos modelos Probit estimados para a cultura do Algodão.

Tabela 11. Resultados da estimação dentro da amostra para vários modelos Probit - Quebras de Safra Algodão

Resultados / Variáveis	Estático			Dinâmico			Autorregressivo			Dinâmico Autorregressivo		
	Coef.	SE	P-valor	Coef.	SE	P-valor	Coef.	SE	P-valor	Coef.	SE	P-valor
Intercept	-516,38	114,85	0,00	12,16	0,82	0,06	13,51	25,23	0,59	-9,22	61,61	0,88
Q_algodaoT1				9,74	6,10	0,96				191,25	105,10	0,10
PRED_YT1							12,57	7,02	0,07	-196,63	100,75	0,08
NRS_ALGODOAO	12,22	5,53	0,06	1,57	0,95	0,10	1,66	0,98	0,09	4,06	3,48	0,27
PREC_BRASIL	-0,44	0,16	0,03	-0,15	0,09	0,12	-0,19	0,10	0,07	-0,11	0,16	0,50
TEMP_MAX	19,67	10,36	0,10	-2,25	1,91	0,24	-2,79	2,10	0,18	0,05	2,27	0,98
TEMP_MIN	-4,44	2,11	0,07	3,21	2,28	0,16	4,12	2,50	0,10	0,52	0,20	0,03
P_ALGODOAO	-201,52	107,75	0,10	4,07	8,83	0,65	6,35	9,39	0,50	-5,29	22,94	0,82
PMC	304,31	108,09	0,03	310,37	234,61	0,19	402,34	258,25	0,12	24,02	438,98	0,96
Rec_CODACE	57,73	26,19	0,06	7,38	4,62	0,11	9,26	4,95	0,06	4,86	2,19	0,05
LNL			-5,73			-5,58			-5,55			-4,14
R2MacFadden			0,60			0,19			0,38			0,16
R2Estrella			0,54			0,17			0,34			0,14
AIC			17,47			19,16			19,11			20,28
SC			42,51			47,28			47,22			51,52
Likelihood Ratio			0,00			0,00			0,00			0,00
Score			0,00			0,00			0,00			0,00
Wald			0,00			0,00			0,00			0,01
% de acerto (prob. média)			0,89			0,72			0,73			0,76
% de acerto (prob. mediana)			0,53			0,53			0,53			0,53
% de falso-positivo (prob. média)			0,11			0,28			0,27			0,24
% de falso-positivo (prob. mediana)			0,47			0,47			0,47			0,47

Nota: Estimativa dentro da amostra (mar/04 a mar/18) para vários modelos probit. β é o termo constante. Observar a tabela de descrição das outras variáveis exploratórias. LNL é a função log-likelihood. $R^2_{MacFadden}$ e $R^2_{Estrella}$ são pseudo R^2 ajustados, respectivamente. AIC e SC são os critérios de informação Akaike e Schwarz, respectivamente. Likelihood, Wald e Score são testes de estimação de modelos. As quatro últimas linhas da tabela são referentes aos percentuais de acerto dos modelos para a quebra de safra, utilizando a probabilidade média e a probabilidade mediana.

Fonte: Elaboração própria.

O modelo com o melhor percentual de acerto e menor percentual de falso-positivos para a cultura do Algodão foi o Probit Estático, com 88,76% de acerto na probabilidade média para marcação de ocorrência de quebra de safra, com o menor percentual de falso-positivo de 11,24%. Da mesma forma, apresenta os maiores $R^2_{MacFadden}$ e $R^2_{Estrella}$ entre os modelos testados, respectivamente de 60,25% e 54,23%. Os testes de validação global do modelo mostraram-se significativos ao nível de 1%, apresentando os melhores resultados entre os quatro modelos. Assim, verifica-se que o modelo Probit Estático, além dos indicadores já mencionados, apresentou o maior número de covariáveis estatisticamente significativas ao nível de 10%.

No que tange as covariáveis do modelo, observa-se que a probabilidade de quebra de safra de algodão tende a aumentar com o aumento do número de sinistros. O coeficiente estimado para a temperatura máxima média aponta para a mesma interpretação, em que o aumento da temperatura tende a aumentar a probabilidade de quebra de safra. Temperaturas médias elevadas podem prejudicar o desenvolvimento do algodão, aumentando a possibilidade de redução da umidade do solo, que por sua vez pode causar queda de flores e frutos, impactando a produtividade do algodoeiro.

O indicador de períodos de recessão CODACE indica maior probabilidade de quebra de safra em períodos de recessão. O PMC também apresentou valor positivo, indicando que expansões do comércio geral, aumentam a probabilidade de quebra de safra, como

a maior parte da produção (60%, segundo USDA em 2019/2020) é exportada, quando a demanda interna, abruptamente aumenta, como por exemplo, na expansão da atividade do comércio geral medido pela PMC, em geral precede uma quebra de safra.

A variação do preço interno do algodão apresentou coeficiente negativo, indicando que a probabilidade de quebra de safra tende a diminuir a medida que aumenta o preço interno do algodão. A Tabela 12 apresenta os resultados da estimação dos modelos Probit para o trigo.

Tabela 12. Resultados da estimação dentro da amostra para vários modelos Probit - Quebras de Safra Trigo

Resultados / Variáveis	Estático			Dinâmico			Autorregressivo			Dinâmico Autorregressivo		
	Coef.	SE	P-valor	Coef.	SE	P-valor	Coef.	SE	P-valor	Coef.	SE	P-valor
Intercept	2,15	0,81	0,01	-1,11	0,53	0,07	3,35	1,18	0,02	3,10	1,00	0,01
Q_trigoT1				2,72	0,38	0,00				2,91	0,43	0,00
PRED_YT1							-1,70	0,74	0,05	-4,45	1,92	0,05
NRS_SOJA	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,24
NRS_TRIGO	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,59	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,33
TEMP_MIN	-0,17	0,05	0,00	-0,03	0,02	0,06	-0,21	0,05	0,00	-0,22	0,08	0,02
ANFAVEA_AGRO	-2,27	2,00	0,26	1,34	2,33	0,58	-1,94	1,01	0,09	-1,17	3,07	0,71
IBC_BR	-26,98	22,06	0,22	32,37	29,58	0,31	-13,00	27,23	0,65	4,72	35,10	0,90
PIM	35,28	13,86	0,01	-28,05	13,84	0,08	22,07	9,19	0,04	-0,49	25,09	0,98
PMC	-16,65	9,57	0,08	-1,17	11,57	0,92	-20,33	10,91	0,10	-20,84	9,42	0,05
LNL			-37,23			-37,14			-62,22			-35,85
R2MacFadden			0,31			0,20			0,38			0,12
R2Estrella			0,28			0,18			0,34			0,11
AIC			150,46			92,27			162,43			91,69
SC			175,50			120,39			190,55			122,93
Likelihood Ratio			0,00			0,00			0,01			0,00
Score			0,00			0,00			0,02			0,00
Wald			0,00			0,00			0,06			0,00
% de acerto (prob. média)			0,70			0,72			0,74			0,72
% de acerto (prob. mediana)			0,63			0,64			0,64			0,64
% de falso-positivo (prob. média)			0,25			0,24			0,22			0,23
% de falso-positivo (prob. mediana)			0,34			0,33			0,33			0,33

Nota: Estimativa dentro da amostra (mar/04 a mar/18) para vários modelos probit. β é o termo constante. Observar a tabela de descrição das outras variáveis exploratórias. LNL é a função log-likelihood, $R^2_{MacFadden}$ e $R^2_{Estrella}$ são pseudo R^2 ajustados, respectivamente. AIC e SC são os critérios de informação Akaike e Schwarz, respectivamente. Likelihood, Wald e Score são testes de estimação de modelos. As quatro últimas linhas da tabela são referentes aos percentuais de acerto dos modelos para a quebra de safra, utilizando a probabilidade média e a probabilidade mediana.

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que o modelo para a cultura de trigo apresentou performance abaixo dos modelos estimados para as demais culturas, tanto no tocante a habilidade preditiva, quanto no ajuste dos modelos estimados. O modelo que apresentou o melhor resultado foi o Probit Autorregressivo, com percentual de acerto de 73,96% e 21,89% de falso-positivos. O $R^2_{MacFadden}$ e $R^2_{Estrella}$ também foram maiores que os demais, porém ao observar o teste Wald percebe-se que o mesmo não foi significativo à 5% por questão de casas decimais. Considerando que os demais modelos apresentaram resultados inferiores em termos de p-valor das covariáveis, pois muitas não foram significativas a 10%, bem como apresentaram percentuais de acerto inferiores e falso-positivos superiores e coeficientes de determinação ajustados inferiores, optou-se pelo Modelo Probit Autorregressivo, ainda que com o Teste Wald apresentando uma significância global de 0,0589.

Na primeira etapa de seleção de variáveis, utilizando o método stepwise, diferentemente dos demais modelos, selecionou o número de sinistros da cultura de trigo e da cultura de soja. Ambos os coeficientes estimados são negativos, o que indica que aumento nos acionamentos de seguro dessas culturas reduzem a probabilidade média de quebra de safra no período subsequente. A relação esperada seria que quanto

maior o número de acionamento de seguros, maior a probabilidade de quebra de safra. No entanto, os coeficientes mostraram-se ligeiramente contrários, o que explica esse fenômeno é a migração entre área plantada, tanto em áreas novas quanto com áreas já plantadas com soja. Esse movimento ocorre direcionado pela conjuntura de mercado, em especial o preço de comércio dessas culturas. Quando analisamos as estatísticas exploratórias, no tocante aos acionamentos de seguros dessas duas culturas, observamos que em períodos de quebra de safra do trigo, o número médio de acionamentos de seguros cai drasticamente (80%), enquanto o número médio de acionamentos do seguro do trigo, em momentos de quebra de safra, apresenta forte aumento (487%), o que pode estar diretamente relacionado com essa dinâmica entre as culturas. Questões negociais nas operações de seguros de soja podem apresentar vantagens em relação aos seguros de trigo e essa migração, portanto, pode se refletir no modelo estimado selecionado, mesmo com parâmetros estimados de valores com menor magnitude, fazendo desse, um resultado pioneiro para literatura brasileira do tema. Já a variação da temperatura mínima indica que a probabilidade de quebra de safra tende a diminuir a medida que as temperaturas mínimas aumentam.

A produção de máquinas e equipamentos agrícolas (ANFAVEA AGRO) apresentou coeficiente negativo, indicando que aumentos de produção de maquinário agrícola, estão associados com menor probabilidade média de quebra de safra no período subsequente. A atividade econômica captura pelas covariáveis IBC-Br e PMC, apresenta uma relação inversa com a probabilidade média de quebra de safra, uma redução da atividade econômica pode indicar no período subsequente uma quebra de safra de trigo. A atividade industrial, ao contrário, tem relação direta com a probabilidade média de quebra de safra de trigo, que pode estar refletindo uma dinâmica mais defasada com essa cultura, haja vista os resultados apresentados anteriormente. Por fim, a Tabela 13 apresenta, de forma resumida, os principais critérios de seleção, testes e probabilidades estimadas dos modelos Probit selecionados.

Tabela 13. Resultados sumarizados dos modelos selecionados

Modelos, Testes, Critérios de Seleção e Probabilidades Estimadas	Soja	Milho 1ª Safra	Milho 2ª Safra	Algodão	Trigo
	Estático			Estático	
Modelos Probit selecionados					
		Dinâmico	Autorregressivo		Autorregressivo
% de acerto (Prob. média)	0,8935	0,7692	0,9645	0,8876	0,7396
% de falso-positivo (Prob. Média)	0,1065	0,2249	0,0355	0,1124	0,2189
Probabilidade Média Estimada*	0,0501	0,0590	0,0557	0,0576	0,1441
Probabilidade Mediana Estimada*	0,0108	0,0194	0,0299	0,0314	0,0786
Máxima Probabilidade Estimada*	0,8844	0,7052	0,9654	0,8904	0,7009
Erro Padrão*	0,1511	0,0949	0,1355	0,1233	0,1476
Likelihood Ratio**	0,0000	0,0037	0,0007	0,0000	0,0067
Wald**	0,0182	0,023	0,0025	0,0015	0,0589
R ² <i>McFadden</i>	0,6508	0,4520	0,7164	0,6025	0,3766
R ² <i>Estrella</i>	0,5858	0,4068	0,6447	0,5423	0,3389

Nota: R²McFadden e R²Estrella são pseudo R² ajustados, respectivamente.*Probabilidades estimadas. Likelihood, Score e Wald são testes de viabilidade global do modelo. **Hipótese nula H0:0 e $\beta_1 = \dots = \beta_k = 0$.

Fonte: Elaboração própria.

De maneira geral, nas culturas estudadas, a dinâmica temporal tem relevância a ser considerada nas estimações, o que pode ser visto com os modelos Autorregressivos e Dinâmicos selecionados. Para as culturas de soja e algodão, a probabilidade de períodos anteriores ou a ocorrência de quebras de safra precedente não apresentou resultados estatisticamente significativos, estando essas culturas mais dependentes das covariáveis selecionadas, respectivamente.

Verifica-se, de uma forma geral, que os modelos escolhidos ficaram com percentuais de acerto acima de 70%, com três dos cinco modelos, acima de 85%. De acordo com

Hosmer et al. (1989) valores acima de 80% são considerados adequados do ponto de vista de discriminação. Dentre os modelos testados, os que apresentaram os melhores resultados em termos de percentual de acerto (probabilidade média para marcação da quebra de safra) foram o Autorregressivo para o Milho 2ª Safra e o Estático para a Soja com, respectivamente, 96,45% e 89,35% de acerto. Os modelos para o milho 1ª safra e trigo apresentaram os maiores percentuais de falso-positivo, que é a proporção de períodos indicados sem quebras de safra na série e que o modelo previu quebra de safra.

Os modelos para as culturas de soja e milho 2ª safra, apresentaram a melhor performance em termos de percentual de acerto e falso-positivos, enquanto os modelos para as culturas de trigo e milho 1ª safra, apresentaram as piores performances. Considerando as probabilidades médias (e medianas) estimadas para os modelos selecionados, observamos as culturas de trigo e milho 1ª safra com as maiores probabilidades de quebra de safra, enquanto as culturas de soja e milho 2ª safra, apresentaram as menores probabilidades de quebra de safra. Considerando o erro-padrão da probabilidade estimada como medida de incerteza, temos que a cultura de trigo apresenta concomitantemente alta probabilidade média de quebra de safra (dentre as culturas estudadas) e alta incerteza. A cultura de soja, por outro lado, apresentou menor probabilidade média de quebra de safra, combinado com a maior incerteza observada. A cultura milho 1ª safra, apesar de apresentar uma das mais altas probabilidades médias de quebra de safra (menor apenas que da cultura de trigo), possui a menor incerteza observada.

Nesse estudo, observamos que os modelos estimados com melhor performance em termos de percentuais de acerto e falso-positivos, coincidentemente são os modelos de melhor ajuste em termos das medidas de pseudo- R^2 , ou seja, os modelos das culturas de soja e milho 2ª safra, sendo que os modelos estimados com pior performance em termos de percentuais de acerto e falso-positivos, também coincidentemente, foram os modelos que apresentaram as piores ajustes medidos, ou seja, os modelos das culturas de trigo e milho 1ª safra.

5. Conclusões

A proposta do estudo foi estimar a probabilidade de quebra de safra das principais culturas agrícolas brasileiras utilizando os modelos Probit dinâmicos. Para essa finalidade, primeiramente foi construído as marcações de quebra de safra combinando a cronologia de eventos das culturas de soja, milho (1ª e 2ª safras), algodão e trigo, o número de acionamentos de seguro dessas culturas, além das variações de produção e produtividade por Unidades da Federação mais relevantes na produção das mesmas. As UF's mais relevantes foram definidas a partir da análise do coeficiente IHH de produção.

Posteriormente, foi implementado uma completa descrição exploratória das principais variáveis de estudo de cada cultura e por fim foi estimado a classe de modelos Probit considerando um amplo espectro de covariáveis, em um total de 63 covariáveis, dentre elas: econômicas, climáticas, setoriais e externas. A seleção de variáveis foi feita por meio da metodologia *Stepwise*, considerando o modelo Probit estático e posteriormente reestimando suas versões dinâmicas.

As versões dinâmicas do modelo Probit foram selecionadas em três culturas: milho 1ª safra; milho 2ª safra e trigo, enquanto as culturas de soja e algodão tiveram a versão estática selecionada. De modo geral, os modelos apresentaram bom percentual de acerto considerando a probabilidade média para marcação de quebra de safra. Por outro lado, essa mesma marcação apresentou um percentual de falso-positivos relativamente alto. As probabilidades médias (bem como as medianas) de quebra de safra para as culturas selecionadas foram baixas, refletindo o caráter excepcional das ocorrências de quebra

de safra. O erro-padrão dessas probabilidades médias se mostram elevadas, indicando um alto grau de incerteza da ocorrência das quebras de safra.

O número de acionamento de sinistros e o PMC foram as únicas covariáveis presentes em todos os modelos, evidenciando a importância destas na discriminação das probabilidades de quebra de safra. As variáveis climáticas (temperaturas máxima, mínimas e precipitação) estiveram presentes em três dos cinco modelos, assim como o indicador de recessão CODACE. De maneira geral, o número de sinistros, as covariáveis relacionadas à atividade comercial, covariáveis climáticas, preços internos e recessão CODACE foram, nesta ordem, as mais frequentes nos modelos analisados. A soja também foi a cultura que apresentou o maior número de covariáveis no modelo (11), seguido do milho 2ª safra, algodão e trigo, todos com 7 covariáveis e, por fim, pelo milho 1ª safra (5). Especificamente, para cada cultura observamos que o trigo é mais afetado por variáveis econômicas do que por variáveis climáticas. Já o algodão mostra-se mais suscetível a sofrer quebra de safra decorrente de questões climáticas. O milho 1ª safra é mais afetado por questões econômicas externas, enquanto o milho 2ª safra por condições econômicas internas. A soja é afetada tanto por variáveis climáticas, quanto econômicas internas e câmbio.

O modelo selecionado para a cultura do trigo apresentou um resultado particularmente importante. Nesse modelo foram selecionados os números de sinistros tanto de trigo quanto de soja, ambos apresentando coeficientes negativos, indicando um impacto negativo sobre a probabilidade de quebra de safra do trigo. Esse resultado evidenciou um fato comum entre produtores dessas culturas, a migração de áreas plantadas (novas ou já habitualmente utilizadas para o cultivo da soja), diferentes características dos contratos de seguro dessas culturas, além da conjuntura de mercado e preço fazem com que produtores alternem a produção de trigo e soja, fazendo que o aumento de sinistros em soja seja preditor de eventos de quebra de safra da cultura de trigo.

Os modelos estimados para as culturas de milho 2ª safra e soja apresentaram as melhores performances em termos de percentual de acerto e falso-positivos, enquanto os modelos estimados para milho 1ª safra e trigo apresentaram as piores performances nessas medidas. Em termos de probabilidade média estimada para essas culturas, a cultura do trigo apresentou a segunda maior probabilidade média de quebra de safra, associado a uma elevada incerteza, medida pelo erro-padrão dessa mesma probabilidade média estimada. A soja apresentou a menor probabilidade média de quebra de safra, porém com a maior incerteza verificada, enquanto o milho 1ª safra tem a segunda maior probabilidade média de quebra de safra, porém a menor incerteza entre todas as culturas consideradas. Na relação entre habilidade preditiva e ajuste do modelo, coincidentemente, os modelos de melhores performances também apresentaram os melhores ajustes em termos de pseudo- R^2 , assim como os modelos de piores performances preditivas foram os que apresentaram menores pseudo- R^2 .

As contribuições do presente estudo são pioneiras no Brasil para o tema de quebras de safra, uma vez que a utilização dessas classes de modelos Probit para estimar quebras de safra, até onde os autores têm conhecimento, ainda não tinham sido abordadas na literatura. O tema é relevante considerando a grande representatividade produtiva, exportadora, de empregabilidade de mão de obra e o uso do crédito agropecuário dessas culturas no setor primário da economia. A proposta de marcação de quebra de safra, considerando três diferentes critérios: cronologia de eventos, variação de produção e produtividade e número de acionamentos de seguros das culturas estudadas também contribui sobremaneira para a literatura do tema. O amplo espectro de covariáveis permitiu identificar efeitos e características individuais por culturas até

culturas no setor primário da economia. A proposta de marcação de quebra de safra, considerando três diferentes critérios: cronologia de eventos, variação de produção e produtividade e número de acionamentos de seguros das culturas estudadas também contribui sobremaneira para a literatura do tema. O amplo espectro de covariáveis permitiu identificar efeitos e características individuais por culturas até então não descritas em qualquer outro estudo do tema. A extensão natural desse estudo pode ser aplicada para diferentes regiões geográficas, bem como a utilização de outras classes de modelos Probit recentemente desenvolvidos, como modelos Probit com parâmetros variando no tempo.

Referências

Berlato, M. A. and Fontana, D. C.: 2001, Impacts of el niño and la niña on agricultural production in southern brazil and the use of climate forecasts in agriculture, *Applications of climate forecasting for better decision-making processes in agriculture*. Passo Fundo, Embrapa Trigo pp. 217–241.

Bernstein, L.: 2007, *Climate change 2007: Synthesis report, summary for policymakers*.

Caldarelli, C. E. and Bacchi, M. R. P.: 2012, Fatores de influência no preço do milho no brasil, *Nova economia* 22(1), 141–164.

Caldas, B. B., Torezani, T. A., Guilhoto, J. J. M. and Caldeira, J. F.: 2012, Impactos da quebra de safra da soja no RS e no Brasil: Uma aplicação da matriz insumo-produto.

Castro, N. R. and Spolador, H. F. S.: 2015, Impactos climáticos na agricultura brasileira, *Agropecuária, meio ambiente e desenvolvimento: anais*.

Chifurira, Retius e Chikobvu, D.: 2014, A probit regression model approach for predicting drought probabilities in zimbabwe using the southern oscillation index, *Mediterranean Journal of Social Sciences* 5(20), 656.

Costa, M. and Abrahão, G.: 2017, Identificação das relações entre eventos anômalos de precipitação e quebras de safra de soja, milho e cana-de-açúcar no brasil nas últimas duas décadas, *Iniciativa para o Uso da Terra - Input*.

de Castro, P. C.: 2002, Opções sobre dólar comercial e expectativas a respeito do comportamento da taxa de câmbio, *Departamento de Estudos e Pesquisas (Depep). Banco Central do Brasil*.

Dueker, M. J.: 1997, Markov switching in garch processes and mean-reverting stock-market volatility, *Journal of Business & Economic Statistics* 15(1), 26–34.

Estrella, A.; Mishkin, F. S.: 1998, Predicting us recessions: *Financial variables as leading indicators*, *Review of Economics and Statistics* 80(1), 45–61

Fahad, S., Wang, J., Hu, G., Wang, H., Yang, X., Shah, A. A., Huong, N. T. L. and Bilal, A.: 2018, Empirical analysis of factors influencing farmers crop insurance decisions in pakistan: Evidence from khyber pakhtunkhwa province, *Land use policy* 75, 459–467.

Franceschi, P. R.: 2019, Modelagens preditivas de churn: O caso do banco do brasil, *Unidade Acadêmica de Pesquisa e Pós-Graduação do Programa de Pós-Graduação em Gestão de Negócios - Mestrado Profissional* p. 81.

Hirakuri, M. H. and Lazzarotto, J. J.: 2014, O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. *Embrapa Soja-Docmentos* (INFOTECA-E).

Hosmer, D., Lemeshow, S. and Sturdivant, R. X.: 1989, Logistic regression for matched case-control studies, *Applied logistic regression* 2, 223–259.

Kauppi, H. and Saikkonen, P.: 2008, Predicting us recessions with dynamic binary response models, *The Review of Economics and Statistics* 90(4), 777–791.

Lazzari, M. R.: 2012, Economia gaúcha em 2011: desaceleração na indústria e nos serviços e recorde na agropecuária, *Indicadores Econômicos FEE* 39(4).

Lesk, C., Rowhani, P. e Ramankutty, N.: 2016, Influence of extreme weather disasters on global crop production, *Nature* 529(7584), 84–87.

Nordhaus, W. D.: 1977, Economic growth and climate: the carbon dioxide problem, *The American Economic Review* 67(1), 341–346.

Oliveira, T. A. S., de Oliveira Neto, O. J. and Silva, E. A.: 2018, Influência de variáveis socioeconômicas na produção brasileira de grãos, *Desafio Online* 6(3).

Pellegrino, G. Q., Assad, E. D. and Marin, F. R.: 2007, Mudanças climáticas globais e a agricultura no brasil, *Revista Multiciência*.

Rahman, S.: 2008, Determinants of crop choices by bangladeshi farmers: A bivariate probit analysis, *Asian Journal of Agriculture and Development* 5(1362-2016-107694), 29–41.

Santos, M. A. d. and Camargo, M. B. P. d.: 2006, Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do estado de são paulo, *Bragantia* 65(1), 173 – 183.

Xavier, A. C., King, C. W. and Scanlon, B. R.: 2016, Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013), *International Journal of Climatology* 36(6), 2644–2659.

Apêndice

Tabela 1. Cronologia dos eventos de quebra de safra de algodão entre 2004 e 2018

Safra	Unidade da Federação	Descrição dos eventos causadores de quebra de safra
2015/2016	Mato Grosso	Por razões climáticas e ataques pontuais de pragas e doenças nas lavouras de algodão plantadas no País, a previsão da quebra para esta safra alcançou 11,1%, em relação à safra 2014/2015. https://amipa.com.br/noticias/12488-?p=noticias/12488 - A quebra na produção nacional da safra 2015/16 esteve atre lada ao clima desfavorável. A falta de chuvas no período de semeio da pluma, devido à influência da La Niña, e precipitações no final do ciclo atrasaram a co lheita do algodão e resultaram em perdas nas lavouras, especialmente na Bahia. Como boa parte da pluma estava contratada com os mercados interno e externo, alguns produtores enfrentaram problemas de entregas de cargas e de qualidade na safra 2015/16. https://www.sonoticias.com.br/agronoticias/algodao-quebra-de-safra-201516-e-maior-volume-contratado-elevam-preco/ .
2015/2016	Bahia	Perdas de 43% na produção. Este ano, a falta ou má distribuição de chuvas no Estado da Bahia pegou os produtores de algodão de surpresa. Os índices pluviométricos foram mais baixos do que nas safras anteriores, registrando acumulado de 800 mm, um déficit de 400 mm em relação ao último ciclo. http://abapa.com.br/mais-noticias/algodao-ba-e-mt-tem-quebra-de-safra/

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2. Cronologia dos eventos de quebra de safra de trigo entre 2004 e 2018.

Safra	Unidade da Federação	Descrição dos eventos causadores de quebra de safra
2005/2006	Paraná	Preços baixos, redução de área e questões climáticas. Estiagem e temperaturas baixas/geadas durante o plantio no PR e RS https://www.agrolink.com.br/noticias/safra-do-trigo-deve-cair-quase-50-em-2006-0746351.html :
2008/2009	Paraná	Geada no desenvolvimento e chuvas excessivas na colheita https://www.folhadelondrina.com.br/economia/parana-vai-colher-menos-trigo-nesta-safra-694045.html .
2010/2011	Paraná	Houve incidência de geada no Paraná entre maio e agosto. http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2011/07/geadas-causam-prejuizos-nas-safras-de-milho-e-trigo-no-parana.html .
2011/2012	Paraná	Problemas climáticos e redução de área reduzem a produção de trigo na região Sul. https://www.folhadelondrina.com.br/economia/seca-reduz-ainda-mais-a-producao-de-trigo-no-pais-822662.html .
2016/2017	Paraná	Chuvas excessivas no Paraná, resultando em queda na produtividade. Antes das chuvas em meados de agosto, o trigo do Paraná havia sofrido com geadas e uma seca prolongada, reduzindo a produção para 2,6 milhões de toneladas, ante aproximadamente 3,5 milhões no ano passado, de acordo com os últimos dados do governo do Estado. https://www.cnabrazil.org.br/noticias/com-quebra-na-safra-de-trigo-brasil-pode-elevar-importacao-em-2017 .
2005/2006	Rio Grande do Sul	Preços baixos, redução de área e questões climáticas. Estiagem e temperaturas baixas/geadas durante o plantio no PR e RS https://www.agrolink.com.br/noticias/safra-do-trigo-deve-cair-quase-50-em-2006-0746351.html :
2008/2009	Rio Grande do Sul	Perdas na fase final de desenvolvimento (ago/set). https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/15437/pdf :
2011/2012	Rio Grande do Sul	O excesso de chuva, a geada e o granizo prejudicaram as lavouras. http://www.cotrijui.coop.br:8080/pgnoticias=noticias.jsp?idnoticia=998 :
2016/2017	Rio Grande do Sul	Emater confirma quebra de 52% na produção de trigo no RS este ano. https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/Trigo/noticia/2017/12globo-rural-emater-confirma-quebra-de-52-na-producao-de-trigo-no-rs-esteano.html

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3. Cronologia dos eventos de quebra de safra de soja entre 2004 e 2019

Safra	Unidade da Federação	Descrição dos eventos causadores de quebra de safra
2008/2009	Paraná	Queda de produtividade de 22% na safra com aumento de 9% na área cultivada. Produção recuou 20%. http://www.paranacooperativo.coop.br/ppc/index.php/sistemaocepar/comuniacao/2011-12-07-11-06-29/ultimas-noticias/11206-11206 . O Paraná foi atingido por diversos eventos climáticos como estiagens prolongadas e períodos com excesso de chuvas que prejudicaram o desenvolvimento principalmente do milho e feijão, culturas onde o Estado se destaca como maior produtor do País. A soja cultivada no Estado também foi prejudicada por uma estiagem severa que atingiu a cultura durante seu desenvolvimento vegetativo e houve quebras de produção. https://tnonline.uol.com.br/noticias/regiao/32,15089,08,09,faltade-chuvas-e-geadas-prejudicam-safra-de-graos-no-parana-revela-ibge.shtml . Área cultivada praticamente estável, mas produtividade 27% menor e uma produção total 29% inferior à safra 2010/11. http://ruralcentro.uol.com.br/noticias/parana-ja-registra-quebra-de-24-nasafra-de-soja-54253 A falta de chuva que atingiu todo o Paraná nesse verão já refletiu em uma perda de 24% na atual safra de soja. O volume, de acordo com o levantamento de fevereiro divulgado pelo Departamento de Economia Rural (Deral), da Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (Seab).
2011/2012	Paraná	Pequeno aumento de área leve, com redução de 7% na produção. No Paraná, as regiões sudoeste e sul tiveram dificuldades para manter o ritmo de colheita por causa das chuvas. No resto do Estado, porém, as má quinas avançaram normalmente, levando a colheita a 74% da área paranaense. https://www14.castrolanda.coop.br/noticia/agrural-informa-que-colheidade-soja-da-safra-201314-alcanca-63-13601
2013/2014	Paraná	Produção recua 15%, produtividade recua 15% e área permanece estável. A colheita da soja já está concluída. O relatório do Deral confirma uma queda de 17% com relação à produção estimada no início da safra, de 19,6 milhões de toneladas. Agora, a estimativa é de 16,2 milhões. Essa redução deve-se principalmente ao excesso de calor e à falta de chuva no início do ciclo. Embora o clima tenha causado impacto em todo o Estado, atingiu principalmente as regiões Oeste, Noroeste e Norte. http://www.paranacooperativo.coop.br/PPC/index.php/sistemaocepar/comunicacao/2011-12-07-11-06-29/ultimas-noticias/122206-safra-201819-parana-devera-produzir-373-milhoes-de-toneladas-de-graos
2018/2019	Paraná	Safra 2004/2005 frustra Sojicultor brasileiro. Perdas de quase 50%. https://www.cepea.esalq.usp.br/br/diarias-de-mercado/soja-safra-2004-05-frustra-sojicultor-brasileiro.asp .
2004/2005	Rio Grande do Sul	Redução de 44% na produção e 45% na produtividade em razão da estiagem. www.estadao.com.br/noticias/geral,rs-reduz-previsao-de-safra-201112-desoja-a-7-1-mi-t .
2011/2012	Rio Grande do Sul	Estima-se que a produção total desta safra representa uma redução de 8% em relação ao ano anterior, resultante principalmente de fatores climáticos adversos em algumas regiões. https://estado.rs.gov.br/emater-divulga-dados-oficiais-dacolheita-de-soja-no-rio-grande-do-sul .
2017/2018	Rio Grande do Sul	Houve aumento de área (2%) e perda de produtividade de 9% no estado. Houve problemas climáticos. Dos 16 estados que produzem soja no país, dez apresentaram crescimento na produção, enquanto Mato Grosso e o Paraná – que juntos detêm quase 45% da produção – amargaram redução de 5% no volume colhido na safra 2015/2016 em relação à anterior. https://www.canalrural.com.br/sites
2015/2016	Mato Grosso	Os técnicos da Conab informaram que algumas culturas tradicionais, como milho e soja, foram prejudicadas pela estiagem ocorrida no Centro Sul, reduzindo a produtividade nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul. Seca. http://www.seagri.ba.gov.br/noticias/2009/09/09/safra .
2008/2009	Mato Grosso do Sul	Produção 10% menor e produtividade 13% menor. Também foram prejudicados pela estiagem os Estados de Santa Catarina (queda anual de 35% na produtividade) e Mato Grosso do Sul (-8%). https://www.terra.com.br/noticias/brasil/safra-brasileira-de-soja-1112-ereduzida-para-662-mi-t-agrural .
2011/2012	Mato Grosso do Sul	Redução 11% na produção e 17% na produtividade. Produção de soja cai e a de milho aumenta na safra 2011/2012 em MS. Conab prevê um aumento da safra de milho no estado em 28%. Órgão atribui redução da produção de soja em MS a estiagem. http://g1.globo.com/mato-grosso-do-sul/noticia/2012/02/producao-desoja-cai-e-de-milho-aumenta-na-safra-20112012-em-ms.html
2018/2019	Mato Grosso do Sul	

Continua

Continuação Tabela 3. Cronologia dos eventos de quebra de safra de soja entre 2004 e 2019

Safra	Unidade da Federação	Descrição dos eventos causadores de quebra de safra
2008/2009	Bahia	Prejuízos em função da estiagem no início da safra e prejuízos com o excesso de chuvas durante a colheita. Consolidadas as informações, foi apurada uma produtividade média geral de 42,5 sacas de soja por hectare para a safra 2008/09, com perdas próximas a 20% em relação a produtividade da safra de 2007/08 que foi de 50,6 sacas por hectare. https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/agronegocio/48827-bahiacomunicado-tecnico-safra.html.XlxgahKhaQ
2011/2012	Bahia	A estiagem que assolou, praticamente, todo o Estado da Bahia e fez com que mais de 250 municípios decretassem Estado de Emergência ainda na safra de 2011/12, teve ocorrência também na safra 2012/13. https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2013/11/3-Levantamentosafra-Oeste-Bahia-2012-13-NOTA-TECNICA.pdf .
2015/2016	Bahia	As fortes chuvas que caíram na região Oeste da Bahia em janeiro, seguida de uma estiagem nos meses de fevereiro e março deste ano causaram um desequilíbrio significativo nas lavouras de soja. A safra 2015/16 registrou a mais severa seca da história no Oeste da Bahia; condições já são melhores nessa temporada. https://www.grupocultivar.com.br/noticias/produtores-do-oeste-da-bahiaapresentam-novo-levantamento-para-safra-2015-16 .
2018/2019	Bahia	O primeiro prognóstico para 2019, divulgado em novembro pelo IBGE, indicava recuo de 15,7% na safra baiana de soja deste ano. A redução prevista da safra de soja no estado se deve à estimativa de queda (-22,8%) no rendimento médio da cultura, em 2019. https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2019/01/12/producao-de-soja-nabahia-em-2019-tem-estimativa-de-reducao-de-20-aponta-ibge.ghtml .

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4. Cronologia dos eventos de quebra de safra do milho 1ª Safra entre 2004 e 2019

Safra	Unidade da Federação	Descrição dos eventos causadores de quebra de safra
2008/2009	Rio Grande do Sul	Perdas em função da seca prolongada. https://www.nsetotal.com.br/noticias/estiagem-e-geada-provocam-queda-na-producao-de-grao
2011/2012	Rio Grande do Sul	Perdas de 43% em virtude da seca. https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2012/04/12/estimativa-de-quebra-na-safra-chega-a-315-no-rs
2017/2018	Rio Grande do Sul	Com os ajustes nas estimativas de produção da safra de verão e da safra-inha, a produção brasileira de milho em 2017/18 deverá alcançar 79,023 milhões de toneladas, 26,76% abaixo das 107,901 milhões de toneladas registradas na temporada anterior. Em relação ao levantamento de abril, que apontava uma colheita de 88,955 milhões de toneladas, o recuo previsto é de 11,17%. www.aguia.agr.br/milho/milho-safra-aponta-quebra-de-276-na-safrinha-2018-frente-ano-anterior
2019/2020	Rio Grande do Sul	Quebra de até 33% na produção gaúcha de milho. https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2020/01/09/fecoagro-estima-perdas-de-33percent-na-producao-gaucha-de-milho
2008/2009	Paraná	Na safra 2008/09 as duas safras de milho foram prejudicadas pelo clima. Na primeira safra houve estiagem. A segunda safra também foi prejudicada pela seca seguida de geadas. Na primeira safra de milho o Paraná produziu 6,57 milhões de toneladas e na segunda safra, 4,72 milhões de toneladas. https://monline.uol.com.br/noticias/regiao/32,15089,08,09,falta-de-chuvas-e-geadas-prejudicam-safra-de-graos-no-parana-revela-ibge.shtm
2013/2014	Paraná	Perdas em decorrência da forte estiagem e elevação de temperaturas acima do normal entre o final de janeiro e meados de fevereiro, no Paraná. https://www.agricultura.pr.gov.br/Noticia/Estado-tera-uma-quebra-na-safra-de-soja-de-201-milhoes-de-tonelada
2014/2015	Paraná	O plantio de milho da primeira safra também está chegando ao fim. Segundo Deral, está sendo plantada a menor área de milho nessa época do ano, com 437 mil hectares. A produção deve chegar a 3,8 milhões de toneladas. https://www.bj.coop.br/single-post/2015/11/04/Parana3A1-colhe-maior-safra-de-gr3A3os-da-hist3B3ria
2015/2016	Paraná	O volume de produção de milho no Paraná já vem em queda desde a primeira safra, quando a lavoura teve perdas de 26% no resultado final em relação ao ano passado. Na safra de verão 2015/16 estão sendo colhidas 3,4 milhões de toneladas, uma das menores safras da história neste período do ano. https://www.bj.coop.br/single-post/2016/05/03/SAFRA-201516-Parana3A1-dever3A1-colher-206-milh3B5es-de-toneladas-de-gr3A3o
2017/2018	Paraná	O reflexo dessa estiagem na produção ainda não é possível de ser determinado, mas está pior, sim", acrescentou Gervásio, lembrando que geadas também impactaram a safra de dois anos atrás. A situação também é grave porque, após atraso no plantio, parte significativa das plantações paranaenses está em estágios de desenvolvimento que demandam maior umidade (floração e frutificação), ao passo que em igual período de 2015/16 o milho no Estado estava em uma fase mais avançada de maturação e, portanto, menos suscetível a perdas por seca. https://exame.abril.com.br/economia/milho-do-pr-tem-pior-condicao-do-que-em-2015-16-quando-safra-quebrou
2004/2005	Santa Catarina	Quebra de safra de 15,6% e de 14% na produtividade. O produtor brasileiro de milho sofreu uma expressiva queda de rentabilidade na safra 2004/05, dada a conjunção desfavorável de três fatores: quebra da produção, devido a adversidades climáticas e redução da área plantada; queda dos preços do produto, em função da valorização do câmbio; e aumento do custo de produção. ftp://ftp.sp.gov.br/ftp/ia/prognostico/milho.pdf
2008/2009	Santa Catarina	Seca no mês de novembro, atrasando o plantio. https://www.nsetotal.com.br/noticias/ibge-e-conab-preveem-queda-do-volume-da-safra-2009
2011/2012	Santa Catarina	A irregularidade das chuvas também resultou em perdas para Santa Catarina, que registrou uma quebra de 8,5 por cento na produção de milho, na comparação com a estimativa inicial de 3,84 milhões de toneladas. https://exame.abril.com.br/economia/seca-reduz-safra-de-soja-e-milho-em-4-5-mi-de-toneladas
2015/2016	Santa Catarina	A produção de milho foi uma das mais afetadas, com uma redução de área plantada de 4,22%, que deve diminuir a produção em 3,94%. Isso representa uma quebra de 117 mil toneladas em relação ao que era esperado da colheita. http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2015/12/reducoes-na-safra-20152016-passam-dos-30-devido-ao-excesso-de-chuva.htm
2017/2018	Santa Catarina	Na primeira semana de março (05/03/18) em torno de 45% de milho grão já estava colhido no Estado, em especial no Oeste e Extremo Oeste. Estas áreas foram semeadas em final de agosto e início de setembro. Mas, em função da estiagem nas regiões do Extremo Oeste (em setembro) e Campos Novos (em dezembro), deverá resultar quebra no rendimento de 10 a 15%, comparativamente a safra anterior. Epagri-SC. Boletim Agropecuário n 58.

Continua

Continuação Tabela 4. Cronologia dos eventos de quebra de safra do milho 1ª Safra 2004 e 2019

Safra	Unidade da Federação	Descrição dos eventos causadores de quebra de safra
2015/2016	Minas Gerais	Com o atraso das chuvas, o plantio foi iniciado mais cedo apenas em áreas de pivô, concentrando-se notadamente em novembro, e finalizado em dezembro. Registros de ataques de lagartas e de doenças fúngicas. No entanto, a estiagem ocorrida em meados de janeiro viabilizou a aplicação de inseticidas e fungicidas para o controle. O clima quente e úmido favoreceu o ataque de cigarrinhas em lavouras de milho na região noroeste, com impactos sobre as produtividades inicialmente estimadas para a região. file:///D:/Documentos/Downloads/BoletimGraosjunho2016.pdf
2018/2019	Minas Gerais	Além da queda na área plantada, a produtividade da cultura retraiu 6,5%, com rendimento médio estimado em 6,1 toneladas por hectare. A expectativa é colher, em Minas, 4,57 milhões de toneladas de milho na primeira safra, volume 15,2% inferior ao de igual período da safra passada. https://diariodocomercio.com.br/agronegocio/safra-em-minas-deve-ser-58-menor-em-2018-19/
2017/2018	Goiás	A queda no volume produzido neste ano ocorreu principalmente em função da menor produção de milho, produto que registrou reduções tanto em sua área plantada quanto na produtividade média das lavouras. No milho verão, ou primeira safra, a produção registrou 3,64 milhões de toneladas a menos do que em 2017, enquanto na safrinha a queda foi de 12,83 milhões de toneladas. https://sistemafaeg.com.br/faeg/noticias/producao/-novos-numeros-da-safra-de-graos-
2005/2006	Bahia	Foi registrada uma queda de produção de mais de 18% da safra 2005/06 do oeste baiano em relação ao período 2004/05. Houve uma queda de 4,84 milhões para 3,96 milhões de toneladas. As perdas de produtividade ficam por conta da falta de chuva no período de plantio, do excesso na colheita, e também da insatisfação dos produtores com o pacote lançado pelo Governo Federal para o setor agrícola. https://atarde.uol.com.br/bahia/salvador/noticias/1272126-oeste-baiano-registra-queda-de-18-na-safra-de-graos
2012/2013	Bahia	Na temporada 2012/13 a chuva próxima às escarpas, que historicamente iniciam em meados de outubro, atrasaram em 10 dias, chegando apenas no dia 29 do mês citado, e em volume muito aquém do esperado. Registrou-se em média 20,4 milímetros em nove municípios analisados enquanto que nas safras 2010/11 e 2011/12, foram registrados em média 84,5mm e 153mm respectivamente para este mês. https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2013/11/3-Levantamento-safra-Oeste-Bahia-2012-13-NOTA-TECNICA.pdf
2015/2016	Bahia	As chuvas esperadas para os meses de outubro, novembro e dezembro de 2015 só caíram em janeiro de 2016, favorecendo o desenvolvimento das variedades tardias, no entanto de 26 de janeiro a 06 de março a região voltou ao período de estiagem prejudicando o enchimento de grão das lavouras de médio ciclo, que representa a maior parte da área cultivada. https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/agronegocio/170571-mesmo-com- crise-e-quebra-de-safra-bahia-farm-show-deve-manter-volume-de-negocios-em-2016.html . XmOpL6hKhaQ
2018/2019	Bahia	Redução de 21% foi motivada por uma estiagem que deixou o Oeste baiano 40 dias sem um pingote de chuva. A região engloba 11 municípios e produz mais de 90% da soja e do milho da Bahia. No entanto, muitos entendem que não se trata propriamente de uma quebra de safra. https://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/expedicoes/expedicao-safra/2018-2019/mesmo-com-quebra-de-21-polo-de-graos-do-nordeste-tem-safra-acima-da-media-5ih1ju0d5bhjx1omeutpqij/
2013/2014	São Paulo	A cultura do milho sequeiro e irrigado, primeira safra 2013/14, com cerca de 90% da colheita realizada até a época do levantamento, aponta para uma produção prevista em 2,43 milhões de toneladas, queda de 30,7% em relação à safra 2012/13. Produção menor é devida tanto aos efeitos climáticos adversos que afetaram o desenvolvimento dos grãos e reduziram sua produtividade em 21,7%. http://www.iea.sp.gov.br/out/tertexto.php?codtexto=13437

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5. Cronologia dos eventos de quebra de safra do milho 2ª Safra entre 2004 e 2019

Safra	Unidade da Federação	Descrição dos eventos causadores de quebra de safra
2015/2016	Mato Grosso	Queda na safra 2015/2016 com o fim da colheita aponta uma quebra de 7,295 milhões da produção de milho 2ª safra em Mato Grosso. O resultado foi provocado pelo déficit hídrico na safrinha. A produtividade consolidou-se em 74,2 sacas por hectare, 28,4% do recorde passado de 108,6 sacas da safra 2014/2015. A região Nordeste foi a mais afetada. https://www.sna.agr.br/clima-adverso-deve-causar-quebra-da-segunda-safra-de-milho-no-pais
2008/2009	Mato Grosso do Sul	A Conab explicou, por meio de nota, que as geadas ocorridas no PR e MS, no mês de junho, e a estiagem registrada entre abril e maio na região Sul e em parte do Centro-Oeste reduziram a atual colheita de grãos em 377,5 mil toneladas. A área plantada, entretanto, foi mantida em 47,6 milhões de hectares. http://g1.globo.com/Noticias/EconomiaNegocios/0,,MUL1221242-9356,00-conab+reduz+estimativa+para+safra.html
2015/2016	Mato Grosso do Sul	Os levantamentos ainda sinalizam queda devido, principalmente, ao período de estiagem registrado em abril deste ano, que comprometeu boa parte do milho plantado em Mato Grosso do Sul. https://www.folhadedourados.com.br/noticias/economia/estiagem-quebra-em-18-milho-safrinha-em-mato-grosso-do-sul
2017/2018	Mato Grosso do Sul	A falta de chuva durante o plantio causou quebra de 25% na segunda safra de milho em Mato Grosso do Sul, segundo levantamento divulgado hoje (28) pela Aprosoja (Associação de Produtores de Soja). https://www.campograndenews.com.br/economia/ms-colhe-7-8-milhoes-de-toneladas-de-milho-queda-de-25-na-2a-safra
2015/2016	Goiás	Produção deve ficar próxima de 4,9 milhões de toneladas, contra as 8 milhões estimadas anteriormente. Lavouras tardias foram as mais afetadas pelo clima irregular. Perdas de 25%. Em meio ao avanço da colheita, os produtores brasileiros vão confirmando a quebra na segunda safra de milho. As perdas podem superar os 40% devido ao período seco, que atrapalhou o desenvolvimento das lavouras. https://www.noticiasagricolas.com.br/videos/milho/176985-em-goias-quebra-na-safrinha-pode-superar-os-40.html
2017/2018	Goiás	Enquanto a queda da produção do milho de segunda safra no Paraná foi de 36% e em Mato Grosso do Sul de 33%, Goiás produziu 6,5 milhões de toneladas, com queda de 14% em relação à safra passada http://ead.senargo.org.br/blog/goias-surpreende-na-producao-do-milho-safrinha
2010/2011	Paraná	Estiagem entre os meses de abril a junho, seguida de geadas severas nos dias 27 e 28 de junho e depois chuvas – provocaram quebras expressivas de produção. A quebra de produção foi de 37%, superior, portanto, à apontada na primeira avaliação após as geadas, que indicava perda de 35%. http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=64868
2015/2016	Paraná	As perdas podem ser ainda maiores no decorrer da colheita, quando serão efetivamente avaliados os impactos da geada. Até agora foram colhidos 10% da área plantada e este milho não foi aquele afetado pela geada. Em julho, quando a colheita se intensifica, o índice de perda em produtividade poderá aumentar e será o momento em que poderemos avaliar a qualidade do grão http://www.iapar.br/2016/06/1957/Seca-e-geadas-prejudicam-producao-de-milho-no-Parana.html
2017/2018	Paraná	Perdas de 20%. A estiagem que passou pelo Paraná nos últimos meses levou o IBGE a revisar para baixo a previsão de produção de grãos no país. Conhecida como safrinha, a segunda safra de milho no estado deve ter perda de 2,2 milhões de toneladas." https://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/agricultura/milho/quebra-da-segunda-safra-de-milho-no-parana-encolhe-producao-de-graos-brasileira-aom8lx12h5qseiu2qf9rgx0/

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6. Cronologia dos eventos de quebra de safra do milho 1ª Safra 2004 e 2019

UF	Produção (1.000 t)	Marketshare (Si)	Si ²
MT	32.454,50	0,28	0,08
RS	19.187,10	0,17	0,03
PR	16.252,70	0,14	0,02
GO	11.437,40	0,10	0,01
MS	8.504,00	0,07	0,01
BA	5.309,10	0,05	0,00
MG	5.074,30	0,04	0,00
SP	3.017,50	0,03	0,00
TO	2.931,50	0,03	0,00
MA	2.917,70	0,03	0,00
SC	2.382,60	0,02	0,00
PI	2.322,10	0,02	0,00
PA	1.708,90	0,01	0,00
RO	1.109,20	0,01	0,00
DF	241,60	0,00	0,00
RR	108,00	0,00	0,00
AP	57,50	0,00	0,00
AM	5,30	0,00	0,00
AL	4,70	0,00	0,00
AC	4,40	0,00	0,00
CE	0,00	0,00	0,00
RN	0,00	0,00	0,00
PB	0,00	0,00	0,00
PE	0,00	0,00	0,00
SE	0,00	0,00	0,00
ES	0,00	0,00	0,00
RJ	0,00	0,00	0,00
Índice Herfindahl-Hirschman - IHH			0,15

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 7. IHH da Produção de milho 1ª Safra no Brasil

UF	Produção de milho 1ª Safra (1.0)	Marketshare (Si)	Si ²
RS	5.768,10	0,22	0,05
MG	4.598,20	0,18	0,03
PR	3.170,90	0,12	0,02
SC	2.874,30	0,11	0,01
GO	2.003,40	0,08	0,01
SP	1.951,80	0,08	0,01
PI	1.481,70	0,06	0,00
BA	1.358,50	0,05	0,00
MA	988,30	0,04	0,00
PA	444,90	0,02	0,00
MT	261,80	0,01	0,00
DF	243,00	0,01	0,00
TO	201,00	0,01	0,00
MS	131,20	0,01	0,00
AC	78,40	0,00	0,00
ES	31,90	0,00	0,00
RO	28,20	0,00	0,00
AM	27,50	0,00	0,00
RJ	3,60	0,00	0,00
RR	0,00	0,00	0,00
AP	0,00	0,00	0,00
CE	0,00	0,00	0,00
RN	0,00	0,00	0,00
PB	0,00	0,00	0,00
PE	0,00	0,00	0,00
AL	0,00	0,00	0,00
SE	0,00	0,00	0,00
Índice Herfindahl-Hirschman - IHH			0,13

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8. IHH da Produção de milho 2ª Safra no Brasil

UF	Produção (1.000 t)	Marketshare (Si)	Si ²
MT	31.045,40	0,42	0,18
PR	13.497,00	0,18	0,03
GO	9.488,60	0,13	0,02
MS	9.374,40	0,13	0,02
MG	2.935,90	0,04	0,00
SP	2.632,00	0,04	0,00
TO	992,70	0,01	0,00
RO	900,10	0,01	0,00
MA	804,20	0,01	0,00
CE	397,50	0,01	0,00
PI	362,60	0,00	0,00
PA	320,30	0,00	0,00
DF	278,10	0,00	0,00
PE	62,70	0,00	0,00
PB	46,10	0,00	0,00
RN	34,60	0,00	0,00
AC	4,10	0,00	0,00
AP	1,30	0,00	0,00
RR	0,00	0,00	0,00
AM	0,00	0,00	0,00
AL	0,00	0,00	0,00
SE	0,00	0,00	0,00
BA	0,00	0,00	0,00
ES	0,00	0,00	0,00
RJ	0,00	0,00	0,00
SC	0,00	0,00	0,00
RS	0,00	0,00	0,00
Índice Herfindahl-Hirschman - IHH			0,25

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 9. IHH da Produção do Algodão no Brasil

UF	Produção (1.000 t)	Marketshare (Si)	Si ²
MT	1.906,60	0,68	0,46
BA	597,60	0,21	0,05
GO	66,70	0,02	0,00
MS	62,90	0,02	0,00
MG	62,00	0,02	0,00
MA	41,10	0,01	0,00
PI	24,80	0,01	0,00
SP	18,00	0,01	0,00
RR	10,50	0,00	0,00
RO	7,40	0,00	0,00
TO	7,10	0,00	0,00
PR	1,40	0,00	0,00
RN	0,40	0,00	0,00
CE	0,30	0,00	0,00
PB	0,20	0,00	0,00
AC	0,00	0,00	0,00
AM	0,00	0,00	0,00
AP	0,00	0,00	0,00
PA	0,00	0,00	0,00
PE	0,00	0,00	0,00
AL	0,00	0,00	0,00
SE	0,00	0,00	0,00
DF	0,00	0,00	0,00
ES	0,00	0,00	0,00
RJ	0,00	0,00	0,00
SC	0,00	0,00	0,00
RS	0,00	0,00	0,00
Índice Herfindahl-Hirschman - IHH			0,51

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10. IHH da Produção do Trigo no Brasil

UF	Produção (1.000 t)	Marketshare (Si)	Si ²
PR	2.835,00	0,52	0,27
RS	1.871,90	0,34	0,12
MG	207,20	0,04	0,00
SP	194,70	0,04	0,00
SC	147,60	0,03	0,00
GO	70,20	0,01	0,00
MS	61,60	0,01	0,00
BA	30,00	0,01	0,00
DF	9,40	0,00	0,00
RR	0,00	0,00	0,00
RO	0,00	0,00	0,00
AC	0,00	0,00	0,00
AM	0,00	0,00	0,00
AP	0,00	0,00	0,00
PA	0,00	0,00	0,00
TO	0,00	0,00	0,00
MA	0,00	0,00	0,00
PI	0,00	0,00	0,00
CE	0,00	0,00	0,00
RN	0,00	0,00	0,00
PB	0,00	0,00	0,00
PE	0,00	0,00	0,00
AL	0,00	0,00	0,00
SE	0,00	0,00	0,00
MT	0,00	0,00	0,00
ES	0,00	0,00	0,00
RJ	0,00	0,00	0,00
Índice Herfindahl-Hirschman - IHH			0,40

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 11. Estatística exploratória da variação das principais covariáveis - Soja - Período (mar/2004 a mar/2018)**Soja geral - 168 observações**

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,00	0,00	5,82	10,25	0,16	-0,11	0,13
Preço Interno	0,01	0,00	7,87	0,88	-0,06	-0,14	0,14
Preço Externo	0,00	0,00	110,14	1,81	-0,25	-0,24	0,17
Dólar	0,00	-0,01	50,11	4,42	1,44	-0,07	0,19
Precipitação	124,13	120,45	0,43	-0,64	0,12	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,32	28,77	0,07	-0,82	-0,53	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,12	17,63	0,15	-1,14	-0,33	11,45	21,99
Nr. Sinistros	176,90	13,00	2,03	12,95	3,22	0,00	2498,00

Soja (sem quebra) - 163 observações

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,00	0,00	5,89	9,93	0,15	-0,11	0,13
Preço Interno	0,01	0,00	8,50	1,10	-0,07	-0,14	0,14
Preço Externo	0,00	0,00	-303,56	1,79	-0,22	-0,24	0,17
Dólar	0,00	0,00	23,70	4,70	1,52	-0,07	0,19
Precipitação	123,90	119,96	0,44	-0,68	0,13	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,26	28,72	0,07	-0,86	-0,49	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,07	17,57	0,15	-1,18	-0,29	11,45	21,99
Número de Sinistros	165,10	11,00	2,13	15,05	3,46	0,00	2498,00

Soja (com quebra) - 5 observações

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,00	0,00	2,03	-1,12	0,45	0,00	0,01
Preço Interno	0,02	0,05	3,12	-2,85	-0,45	-0,06	0,09
Preço Externo	0,02	0,03	1,62	0,63	-1,01	-0,04	0,06
Dólar	-0,02	-0,04	-1,71	2,21	1,23	-0,07	0,04
Precipitação	131,49	133,46	0,18	0,69	0,23	101,46	164,12
Temperatura Máxima	30,18	30,13	0,02	-0,02	0,81	29,56	31,14
Temperatura Mínima	18,77	18,77	0,05	1,72	-0,11	17,53	19,96
Número de Sinistros	561,60	257,00	0,83	-3,25	0,60	175,00	1097,00

Nota: Custo de Produção (R\$/ha); Preço Interno (R\$/kg); Preço Externo (R\$/t); Dólar (R\$/US\$) - variações. Prec.(mm); Temp. Máxima e Mínima (oC) e nr. de sinistros em nível.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12. Estatística exploratória da variação das principais covariáveis - Milho 1ª Safra - Período (mar/2004 a mar/2018)

Milho 1ª Safra Geral - 168 observações

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,01	0,00	4,15	5,65	1,63	-0,05	0,10
Preço Interno	0,00	0,00	15,79	0,79	0,56	-0,15	0,22
Preço Externo	0,00	0,00	48,43	2,39	0,55	-0,25	0,29
Dólar	0,00	-0,01	50,11	4,42	1,44	-0,07	0,19
Nr. Sinistros	124,13	120,45	0,43	-0,64	0,12	16,57	253,24
Precipitação	28,32	28,77	0,07	-0,82	-0,53	23,94	31,38
Temperatura Máxima	17,12	17,63	0,15	-1,14	-0,33	11,45	21,99
Temperatura Mínima	146,46	6,00	1,92	7,23	2,63	0,00	1459,00

Milho 1ª Safra (sem quebra) - 157 observações

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,01	0,00	4,43	5,67	1,63	-0,05	0,10
Preço Interno	0,00	0,00	15,92	0,99	0,66	-0,15	0,22
Preço Externo	0,00	0,00	15,09	1,83	0,83	-0,14	0,29
Dólar	0,00	-0,01	-22,76	1,12	0,83	-0,07	0,11
Precipitação	122,46	117,88	0,45	-0,69	0,17	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,30	28,78	0,07	-0,92	-0,49	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,06	17,57	0,16	-1,24	-0,28	11,45	21,99
Número de Sinistros	135,14	3,00	2,06	8,30	2,81	0,00	1459,00

Milho 1ª Safra (com quebra) - 11 observações

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,01	0,00	1,87	4,76	2,24	0,00	0,05
Preço Interno	0,00	0,03	14,98	-1,02	-0,57	-0,13	0,09
Preço Externo	-0,04	-0,02	-1,77	6,15	-2,36	-0,25	0,02
Dólar	0,03	0,02	2,03	3,23	1,78	-0,03	0,19
Precipitação	147,96	140,39	0,21	3,04	1,31	107,44	221,72
Temperatura Máxima	28,62	28,65	0,04	2,15	-1,40	26,03	29,72
Temperatura Mínima	17,90	17,81	0,06	-1,35	-0,10	16,18	19,44
Número de Sinistros	308,09	187,00	0,90	1,42	1,39	28,00	930,00

Nota: Custo de Produção (R\$/ha); Preço Interno (R\$/kg); Preço Externo (R\$/t); Dólar (R\$/US\$) - variações. Prec.(mm); Temp. Máxima e Mínima (oC) e nr. de sinistros em nível.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13. Estatística exploratória da variação das principais covariáveis - Milho 2ª Safra-Período (mar/2004 a mar/2018)**Milho 2ª Safra Geral - 168 observações**

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,00	0,00	4,06	5,65	1,50	-0,05	0,09
Preço Interno	0,00	0,00	15,79	0,79	0,56	-0,15	0,22
Preço Externo	0,00	0,00	48,43	2,39	0,55	-0,25	0,29
Dólar	0,00	-0,01	50,11	4,42	1,44	-0,07	0,19
Precipitação	124,13	120,45	0,43	-0,64	0,12	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,32	28,77	0,07	-0,82	-0,53	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,12	17,63	0,15	-1,14	-0,33	11,45	21,99
Número de Sinistros	116,64	0,00	2,22	8,59	2,85	0,00	1516,00

Milho 2ª Safra (sem quebra) - 164 observações

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,00	0,00	4,21	5,56	1,51	-0,05	0,09
Preço Interno	0,00	0,00	25,92	0,93	0,62	-0,15	0,22
Preço Externo	0,00	-0,01	67,36	2,31	0,57	-0,25	0,29
Dólar	0,00	0,00	86,21	4,73	1,43	-0,07	0,19
Precipitação	124,30	120,45	0,44	-0,69	0,11	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,33	28,80	0,07	-0,84	-0,54	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,12	17,76	0,15	-1,18	-0,34	11,45	21,99
Número de Sinistros	115,63	0,00	2,26	8,56	2,86	0,00	1516,00

Milho 2ª Safra (com quebra) - 4 observações

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,01	0,01	0,79	-1,01	-0,36	0,00	0,02
Preço Interno	0,07	0,07	0,28	-5,90	0,01	0,05	0,09
Preço Externo	0,02	0,01	1,56	0,52	1,19	0,00	0,06
Dólar	0,01	-0,01	4,73	3,16	1,67	-0,04	0,11
Precipitação	117,16	114,09	0,14	-0,71	0,83	102,38	138,09
Temperatura Máxima	28,00	27,81	0,04	1,96	0,92	26,74	29,65
Temperatura Mínima	16,80	16,73	0,04	-3,58	0,34	16,20	17,53
Número de Sinistros	158,25	124,50	1,10	-1,06	0,80	0,00	384,00

Nota: Custo de Produção (R\$/ha); Preço Interno (R\$/kg); Preço Externo (R\$/t); Dólar (R\$/US\$) - variações. Prec.(mm); Temp. Máxima e Mínima (oC) e nr. de sinistros em nível.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14: Estatística exploratória da variação das principais covariáveis - Algodão - Período (mar/2004 a mar/2018)

Algodão Geral - 168 observações

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,00	0,00	6,52	2,25	0,65	-0,05	0,07
Preço Interno	0,00	0,00	31,62	11,38	-1,54	-0,41	0,18
Preço Externo	0,00	0,00	65,54	2,36	0,18	-0,19	0,22
Dólar	0,00	-0,01	50,11	4,42	1,44	-0,07	0,19
Precipitação	124,13	120,45	0,43	-0,64	0,12	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,32	28,77	0,07	-0,82	-0,53	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,12	17,63	0,15	-1,14	-0,33	11,45	21,99
Número de Sinistros	0,26	0,00	5,05	94,30	8,97	0,00	15,00

Algodão (sem quebra) - 164 observações

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,00	0,00	6,33	2,14	0,63	-0,05	0,07
Preço Interno	0,00	0,00	39,67	11,43	-1,54	-0,41	0,18
Preço Externo	0,00	0,00	40,31	2,49	0,17	-0,19	0,22
Dólar	0,00	0,00	28,88	4,68	1,52	-0,07	0,19
Precipitação	123,51	119,73	0,44	-0,65	0,15	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,27	28,73	0,07	-0,85	-0,50	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,07	17,57	0,15	-1,17	-0,31	11,45	21,99
Número de Sinistros	0,14	0,00	4,25	38,49	5,78	0,00	5,00

Algodão (com quebra) - 4 observações

Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,00	0,00	-1,94	-2,32	-0,47	-0,01	0,00
Preço Interno	0,02	0,04	3,01	2,94	-1,60	-0,06	0,06
Preço Externo	-0,02	-0,04	-3,15	1,57	1,33	-0,08	0,08
Dólar	-0,02	-0,03	-2,38	1,37	0,93	-0,07	0,05
Precipitação	149,34	150,89	0,17	-3,04	-0,23	120,74	174,83
Temperatura Máxima	30,09	29,89	0,02	0,89	1,27	29,56	31,01
Temperatura Mínima	19,04	18,85	0,07	1,78	0,78	17,53	20,91
Número de Sinistros	5,25	2,50	1,27	3,00	1,75	1,00	15,00

Nota: Custo de Produção (R\$/ha); Preço Interno (R\$/kg); Preço Externo (R\$/t); Dólar (R\$/US\$) - variações. Prec.(mm); Temp. Máxima e Mínima (oC) e nr. de sinistros em nível.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 15. Estatística exploratória da variação das principais covariáveis - Trigo - Período (mar/2004 a mar/2018)

Trigo Geral - 168 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,00	0,00	7,91	17,73	2,66	-0,06	0,18
Preço Interno	0,00	0,00	20,86	1,06	-0,16	-0,20	0,17
Preço Externo	0,00	0,00	188,35	0,56	0,03	-0,23	0,26
Dólar	0,00	-0,01	50,11	4,42	1,44	-0,07	0,19
Precipitação	124,13	120,45	0,43	-0,64	0,12	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,32	28,77	0,07	-0,82	-0,53	23,94	31,38
Temperatura Mínima	17,12	17,63	0,15	-1,14	-0,33	11,45	21,99
Número de Sinistros	181,94	0,00	3,43	20,76	4,44	0,00	4154,00

Trigo (sem quebra) - 136 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,00	0,00	6,09	22,91	3,32	-0,06	0,18
Preço Interno	0,00	0,00	27,65	1,00	-0,18	-0,20	0,17
Preço Externo	0,00	-0,01	-43,08	0,64	0,10	-0,23	0,26
Dólar	0,00	0,00	15,33	4,04	1,46	-0,07	0,19
Precipitação	129,75	133,44	0,42	-0,65	0,04	16,57	253,24
Temperatura Máxima	28,59	29,11	0,07	-0,46	-0,73	24,15	31,38
Temperatura Mínima	17,45	18,29	0,15	-0,88	-0,53	11,45	21,99
Número de Sinistros	216,74	0,00	3,18	16,15	3,95	0,00	4154,00

Trigo (com quebra) - 32 observações							
Variáveis	Média	Mediana	Coef. Variação	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo
Custo de Produção	0,00	0,00	-54,45	2,59	0,71	-0,06	0,08
Preço Interno	0,01	0,00	8,90	0,55	0,17	-0,11	0,11
Preço Externo	0,01	0,01	8,78	0,64	-0,26	-0,23	0,20
Dólar	-0,01	-0,01	-3,71	-0,88	-0,24	-0,05	0,03
Precipitação	100,24	94,19	0,45	-0,68	0,17	20,30	186,41
Temperatura Máxima	27,18	27,20	0,07	-0,86	0,19	23,94	30,81
Temperatura Mínima	15,70	15,27	0,15	-1,01	0,41	12,30	20,37
Número de Sinistros	34,03	0,00	2,24	7,82	2,79	0,00	327,00

Nota: Custo de Produção (R\$/ha); Preço Interno (R\$/kg); Preço Externo (R\$/t); Dólar (R\$/US\$) - variações. Prec.(mm); Temp. Máxima e Mínima (oC) e nr. de sinistros em nível.

Fonte: Elaboração própria.