**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Gestão de risco em propriedades com sistemas de produção de
algodão, soja e milho em Mato Grosso, Brasil**

Fábio Francisco de Lima

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Administração

**Piracicaba
2018**

Fábio Francisco de Lima
Engenheiro Agrônomo

Gestão de risco em propriedades com sistemas de produção de algodão, soja e milho em Mato Grosso, Brasil

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **LUCILIO ROGERIO APARECIDO ALVES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Administração

Piracicaba
2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Lima, Fábio Francisco de

Gestão de risco em propriedades com sistemas de produção de algodão, soja e milho em Mato Grosso, Brasil / Fábio Francisco de Lima. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

92 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Gestão de risco 2. Algodão 2ª safra 3. Fronteira eficiente 4. Sistema de produção I. Título

*“A meus pais, irmã e a todos aqueles
que estiveram comigo nessa jornada”.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, sem dúvidas, aos meus queridos pais pela educação, amor e o grande incentivo ao estudo. Agradeço por acreditar e motivar as minhas ambições, o que foi fundamental para ingressar e prosperar no curso de mestrado. Á minha querida irmã, pela preocupação e carinho, que com seu imenso coração me levantou nos momentos difíceis no decorrer da vida.

Agradeço ao Prof. Dr. Lucilio Rogerio Aparecido Alves por apostar na minha carreira e na minha capacidade. Sob pacientes instruções, foi um dos alicerces mais importantes na construção do meu lado profissional. Aprendi muito sobre dedicação, seriedade, ética e, sobretudo, humanidade. E além de tudo isso, nessa jornada saímos como amigos.

Ao pesquisador Dr. Mauro Osaki, por ter me dado a primeira oportunidade profissional e me orientado no agronegócio, sem seus conselhos não teria conseguido construir a minha carreira. Obrigado pelas contribuições em meus conhecimentos e formação nesse mestrado e, claro, pela nossa amizade.

Essa caminhada não poderia ter sido melhor sem a presença dos meus amigos Renato Garcia Ribeiro e Fernanda Geraldini Palmieri. Os agradeço pelo apoio nas disciplinas e as palavras de conforto. Sinto que nossa turma cresceu junto e esse apoio perdurará por nossas vidas.

Á minha namorada Rafaela, pela sua compreensão e carinho. Poucos sabem ou entendem pelo que passei, e você foi a pessoa mais presente neste momento, devolvendo minha vivacidade quando ela se exauria. Mesmo com tantas adversidades construímos um relacionamento forte e amoroso.

A meus amigos Nicole Rennó, Leandro Gilio, Rodrigo Peixoto, Graziela Correr e Camila Ortelan por formarem a minha “família” de Piracicaba. Em especial aos dois primeiros, no qual aprendi que diferenças podem ser na verdade completude. Aos meus caros amigos André Sanches, Fernando Capello, Gustavo Giachini, Augusto Maielli, Fabio Felipe e Matheus Sleiman pelas horas de alegria e companheirismo.

A aqueles que dividiram moradia comigo – André Delgado, Marcos Garcias, Raphael Fava e Gabriel Faleiros – pela irmandade lisonjeira que construímos e que foi suporte em cada dia da minha carreira acadêmica e profissional.

Não deixaria de agradecer aos meus amigos de longa data: Guilherme Telles, Daniel Malgarin, Fernando Izelli, Daniel Ortiz, Luiz Fernando Maehana, Luiz Jordão, Paulo Sipoli e

Lucas Ranalli. Desde adolescência crescemos juntos e estiveram ao meu lado em todas as conquistas. Vocês sempre foram grandes irmãos.

Deixo meu agradecimento também ao corpo docente do LES/ESALQ-USP pela contribuição na minha formação acadêmica. Em especial aos professores Dr. Geraldo Sant'Anna Barros, Dr. Roberto Arruda, Dr. Edwin Ortega, Dra. Margarete Boteon e Dr. Alexandre Almeida pela atenção e orientação quando precisei. Também um agradecimento especial aos professores que solicitamente atenderam ao convite da minha banca de defesa.

A todos os citados anteriormente, agradeço imensamente por contribuir na construção do homem que sou hoje!

*“A verdadeira viagem de descobrimento
não consiste em procurar novas paisagens,
mas em ter novos olhos”.*

Marcel Proust

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Gestão da propriedade rural.....	19
2.2 Gestão de risco na atividade agropecuária	21
2.3 Diversificação da produção agropecuária.....	23
2.4 Modelos estatísticos de gerenciamento de risco rural	24
2.5 Soja, milho e algodão: panorama mundial, brasileiro e mato-grossense.....	29
3 METODOLOGIA.....	35
3.1 Dados e objeto de estudo	35
3.2 Estrutura de custo de produção.....	37
3.3 Análise estocástica de risco	38
3.3.1 Simulação de Monte Carlo	38
3.3.2 Teoria de portfólio e Fronteira de eficiência	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 Caracterização de fazendas produtoras de algodão	45
4.2 Análise do custo de produção.....	50
4.3 Identificação da distribuição de probabilidade das variáveis de risco.....	54
4.4 Análise de risco	56
4.4.1 Análise de risco para as culturas da região Agregado Norte.....	56
4.4.2 Análise de risco para as culturas da região Centro Leste	61
4.4.3 Resultados gerais	65
4.5 Análise de portfólio	67
4.5.1 Análise para a região Agregado Norte	67
4.5.2 Análise para a região Centro Leste.....	72
4.5.3 Resultados gerais	76

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
	REFERÊNCIAS.....	81
	ANEXOS	87

RESUMO

Gestão de risco em propriedades com sistemas de produção de soja, milho e algodão em Mato Grosso, Brasil

Devido as poucas opções de cultivo, o cotonicultor em Mato Grosso concentra seu modelo de produção em algodão, soja e milho, o que tem contribuído para que o estado seja o maior produtor nacional dessas três culturas. Nas últimas safras, a produção algodão migrou para segunda safra, dividindo espaço com o milho e colocando a soja como principal opção do cultivo de verão. Além disso, nas última cinco safras, as mudanças de tecnologias de sementes de algodão foram intensas, alterando ainda mais os sistemas produtivos. Em virtude das recentes mudanças, dúvidas ainda residem sobre a eficiência financeira-econômica e o risco assumido com o novo modelo produtivo. Partindo dessa lacuna na pesquisa, o estudo teve como objetivo descrever como as propriedades de algodão se configuraram entre as safras 2012/13 e 2015/16, para subsidiar a mensuração dos risco das cultivos de algodão, soja e milho e seus respectivos sistemas. Ao final, o estudo buscou construir um modelo que otimize a renda e risco da combinação dos cultivos (algodão safra, soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra), para auxiliar na gestão da propriedade rural. Para fins de estudar todos os sistemas produtivos, foram delimitadas duas regiões: Agregado Norte e Centro Leste. A primeira compreende a produção de soja no verão e algodão e milho na segunda safra, enquanto a segunda se restringe ao cultivo de algodão e soja no verão e milho sucedido pela oleaginosa. Para análise de risco dos cultivos e sistemas de produção, foi utilizado o método de Monte Carlo, por envolver simulação de elementos aleatórios. Para construção de uma fronteira de eficiência das possíveis combinações de culturas na propriedade analisando a relação retorno-risco, o algoritmo genético foi base para o modelo de otimização via simulação. Os resultados apontam a produção de soja com o menor risco, enquanto sistemas com segunda safra são mais arriscados. No entanto, a introdução do algodão em sucessão a soja trouxe ganhos significativos de receita líquida para o sistema, enquanto o milho 2ª safra pouco aumentou a renda ou então reduziu em resposta a grande aumento do risco de produção. No geral, o Centro Leste mostrou-se menos arriscado para produção de algodão e grãos, principalmente no que tange a produtividade. Sob a teoria do portfólio, os dados do modelo mostram que a utilização de soja na totalidade de área de verão resulta em maiores ganhos de rentabilidade, enquanto que a maximização da renda ocorre com acréscimo de área do algodão na primeira safra, mas que por outro lado expõe a fazenda a maior risco de produção. A introdução de área na segunda safra ajuda a atenuar os riscos da propriedade. Sendo assim, a diversificação de culturas na propriedade se mostrou o melhor caminho para gerir o risco, dado que a utilização do maior número de cultivos resultou nas melhores relação entre retorno e risco.

Palavras-chave: Monte Carlo; Otimização; Portfólio; Segunda safra

ABSTRACT

Risk management in properties with soybean, corn and cotton crops systems in Mato Grosso, Brazil

With the few cultivation options, the cotton-grower in Mato Grosso concentrates its production model on cotton, soybeans and corn, which has contributed to the state being the largest national producer of these three crops. In the last harvests, cotton production migrated to the double harvest model, dividing space with corn and placing soybeans as the main option of summer cultivation. In addition, in the last five harvests, cotton seed technologies changes were intense, further shifting the production systems. Due to the recent changes, doubts still rest on the financial-economic efficiency and the risk assumed with the new production model. Based on this lacuna in the research, the objective of this study was to describe how cotton properties were configured between the 2012/13 and the 2015/16 harvests, to subsidize the measurement of the risk of cotton, soybean and corn crops and their respective systems. At the end, the study develops a model that optimizes the income and risk of the crop combination (crop cotton, soybean, 2nd cotton crop and second corn harvest), to assist the rural property management. To study all the productive systems, two regions were delimited: North Aggregate and Eastern Center. The first comprises the production of soybeans in the summer and cotton and corn in the second crop, while the second is restricted to the cotton and soybeans cultivation in the summer and corn succeeded by the oilseed. For the analysis of the crops and production systems risk, the Monte Carlo method was used, involving random elements simulation. To build an efficient frontier of possible combinations of crops in the property, analyzing the return-risk relationship, the genetic algorithm was the basis for the simulation optimization model. The results point to the soybeans production being the one with the lowest risk, while systems with second harvests are more risky. However, the introduction of cotton in succession to soybeans brought significant net revenue gains to the system, while the second corn crop little increased the income or else reduced in response to the large increase in production risk. The Eastern Center proved to be less risky for cotton and grain production, especially in terms of productivity. In the portfolio theory, model data show that soybean cultivation in the entire summer area results in higher profitability gains, while revenue maximization occurs with cotton area increase in the summer crop, but exposes the farm to the highest production risk. The introduction of area in the second harvest helps to mitigate property risks. Thus, the crops diversification in the property proved to be the best route for risk management, as the use of the greatest number of crops resulted in the best relation between return and risk.

Keywords: Monte Carlo; Optimization; Portfolio; Double-crop

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção, volume exportado e produtividade da soja em grãos – média entre as safras 2014/15 e 2016/17.....	30
Figura 2. Produção, volume exportado e produtividade de milho em grãos – média entre as safras 2014/15 e 2016/17.....	30
Figura 3. Produção, volume exportado e produtividade de algodão – média entre as safras 2014/15 e 2016/17.	31
Figura 4. Representatividade (%) do Valor Bruto da Produção (VBP) de algodão, milho e soja sobre o valor total gerado pela agricultura em cada estado brasileiro em 2015.	32
Figura 5. Participação dos estados na produção de soja, milho e algodão em caroço na safra 2015/16 do Brasil.	33
Figura 6. Distribuição das áreas de produção de algodão 1ª safra e 2ª safra em Mato Grosso entre as temporadas 2008/09 e 2016/17.	34
Figura 7. Divisão dos núcleos regionais da Associação Matogrossense do Algodão (AMPA).	35
Figura 8. Distribuição das áreas de cultivo nas propriedades do Agregado Norte de Mato Grosso.	46
Figura 9. Distribuição das áreas de cultivo nas propriedades do Centro Leste de Mato Grosso.	46
Figura 10. Distribuição das áreas de soja, milho e algodão nas propriedades das regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso – safra 2012/13.....	47
Figura 11. Distribuição das áreas de soja, milho e algodão nas propriedades das regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso – safra 2013/14.....	47
Figura 12. Distribuição das áreas de soja, milho e algodão nas propriedades das regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso – safra 2014/15.....	47
Figura 13. Distribuição das áreas de soja, milho e algodão nas propriedades das regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso – safra 2015/16.....	47
Figura 14. Distribuição das áreas de soja, milho e algodão nas propriedades do Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso entre as safras 2012/13 e 2015/16.....	48
Figura 15. Distribuição das áreas de algodão por tecnologia entre as safras 2012/13 e 2015/16, nas regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso.....	49
Figura 16. Distribuição de frequência da Receita Líquida Operacional (RLO) dos sistemas soja, soja + algodão 2ª safra e soja + milho 2ª safra para região Agregado Norte – em R\$/ha.	59

Figura 17. Distribuição de frequência da Receita Líquida Total (RLT) dos sistemas soja, soja + algodão 2ª safra e soja + milho 2ª safra para região Agregado Norte – em R\$/ha.	60
Figura 18. Distribuição de frequência da Receita Líquida Operacional (RLO) dos sistemas algodão safra, soja e soja + milho 2ª safra para região Centro Leste – em R\$/ha.	63
Figura 19. Distribuição de frequência da Receita Líquida Total (RLT) dos sistemas algodão safra, soja e soja + milho 2ª safra para região Centro Leste – em R\$/ha.	64
Figura 20. Fronteira eficiente que maximiza a relação retorno e risco para combinação de soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra na região Agregado Norte.	69
Figura 21. Combinação do uso da área, risco, retorno sobre o custo total e probabilidade de renda negativa ($Pr\ RLT < 0$) de soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra, para as fazendas da fronteira eficiente e a original.	70
Figura 22. Combinação do uso da área, receita líquida total (RLT) e retorno sobre o custo total de soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra, para as fazendas da fronteira eficiente e a original.	71
Figura 23. Fronteira eficiente que maximiza a relação retorno e risco para combinação de algodão safra, soja e milho 2ª safra na região Centro Leste.....	73
Figura 24. Combinação do uso da área, risco, retorno sobre o custo total e probabilidade de renda negativa ($Pr\ RLT < 0$) de algodão safra, soja e milho 2ª safra, para as fazendas da fronteira eficiente e a original.	75
Figura 25. Combinação do uso da área, receita líquida total (RLT) e retorno sobre o custo total de algodão safra, soja e milho 2ª safra, para as fazendas da fronteira eficiente e a original.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Custo de produção médio, ponderado por área, do algodão safra, soja e milho 2ª safra na região Centro Leste de Mato Grosso – safras 2012/13 a 2015/16.	51
Tabela 2. Custo de produção médio, ponderado por área, do algodão 2ª safra, soja e milho 2ª safra na região Agregado Norte de Mato Grosso – safras 2012/13 a 2015/16.	52
Tabela 3. Valor e coeficiente de variação (CV) dos preços de venda da produção e produtividades médias, ponderado por área, do algodão safra, soja e milho 2ª safra nas regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso – safras 2012/13 a 2015/16.	53
Tabela 4. Distribuição de probabilidade das variáveis de risco do custo de produção para região Agregado Norte de Mato Grosso, com base nos dados das propriedades nas safras 2012/13, 2013/14, 2014/15 e 2015/16.....	55
Tabela 5. Distribuição de probabilidade das variáveis de risco do custo de produção para região Centro Leste de Mato Grosso, com base nos dados das propriedades nas safras 2012/13, 2013/14, 2014/15 e 2015/16.	55
Tabela 6. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas de soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra para região Agregado Norte de Mato Grosso – em R\$/ha.....	57
Tabela 7. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas dos sistemas soja, soja + algodão 2ª safra e soja + milho 2ª safra para região Agregado Norte de Mato Grosso – em R\$/ha.....	57
Tabela 8. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas de algodão safra, soja e milho 2ª safra para região Centro Leste – em R\$/ha.....	61
Tabela 9. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas dos sistemas algodão safra, soja e soja + milho 2ª safra para região Centro Leste – em R\$/ha.	62
Tabela 10. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas Operacionais dos sistemas algodão safra, soja, soja + algodão 2ª safra e soja + milho 2ª safra para as regiões Agregado Norte e Centro Leste – em R\$/ha.	66
Tabela 11. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas Totais dos sistemas algodão safra, soja, soja + algodão 2ª safra e soja + milho 2ª safra para as regiões Agregado Norte e Centro Leste – em R\$/ha.....	66
Tabela 12. Área (hectares) e custo de produção (Reais) das culturas do Agregado Norte, com base nas informações originais coletadas entre as safras 2012/13 e 2015/16.	68

Tabela 13. Risco, retorno e combinação do uso da área, em mil hectares, com soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra para as fazendas da fronteira eficiente e a original – em mil hectares.....	69
Tabela 14. Área (hectares) e custo de produção (Reais) das culturas do Centro Leste, com base nas informações originais coletadas entre as safras 2012/13 e 2015/16.....	72
Tabela 15. Risco, retorno e combinação do uso da área, em mil hectares, com algodão safra, soja e milho 2ª safra para as fazendas da fronteira eficiente e a original. ...	74

1 INTRODUÇÃO

O Mato Grosso ocupa atualmente o primeiro lugar no ranking brasileiro de produção agrícola de grãos e algodão. Os principais produtos que deixam o estado nessa posição, são a soja e milho, como apontam os dados da Conab (2018). Apesar do setor de grãos ser o mais importante, o algodão brasileiro teve 66% de sua produção concentrada em Mato Grosso na safra 2016/17 (CONAB, 2018), do qual 88% foram semeados na segunda safra (IMEA, 2018).

Como maior produtor de soja, milho e algodão brasileiro, o estado conta com a particularidade de realizar duas safras na mesma área em uma temporada agrícola, sendo a mais comum o cultivo de soja seguido por milho 2ª safra (DUARTE, CRUZ; GARGIA, 2007). Contudo, cotonicultores do estado apostam também no sistema soja seguido de algodão 2ª safra como opção (ALVES; LIMA; FERREIRA FILHO, 2014).

O modelo de dupla safra tem como objetivo intensificar o uso da terra, para diluir custos de capital investido e gerar melhor distribuição do fluxo de caixa. A dupla safra ainda explora a ideia de diversificação de culturas, do qual parte significativa da literatura acadêmica defende ser a melhor forma de diminuir riscos. Diante da complexidade de diversificação de culturas, com sucessão de culturas na safra, torna-se um desafio a gestão da propriedade rural e também do risco que a envolve.

A bibliografia científica disponível apresenta trabalhos sobre gestão que incorporam o risco na análise. Os mais recentes são propostos por Gabriel, Garrido e Quemada (2013), Carvalho et al., (2014), Figueiredo et al. (2014), Osaki e Batalha (2014), Rădulescu, Rădulescu e Zbăganu (2014) Gomes (2015), Simões, Cabral e Oliveira (2015), Stott et al. (2016) e Luo, Behrendt e Bange, (2017). Embora muitos dos trabalhos considerem o estudo do risco com diversificação de culturas, alguns até mesmo de dupla safra, nenhum deles cogitou a introdução do algodão 2ª safra no modelo.

Buscando preencher essa lacuna sobre a introdução do algodão na segunda safra em Mato Grosso, este estudo pretende avaliar a gestão de risco de propriedades agrícolas que possuem em seus sistemas os cultivos de soja, milho e algodão. Entretanto, buscar-se-á entender quais os riscos do cultivo de algodão na safra de verão, comparativamente aos sistemas que envolvem cultivo de soja seguido de algodão ou milho 2ª safra.

Este trabalho se fundamenta na carência de estudos sobre gestão da propriedade considerando os riscos, sobretudo em propriedades com cultivo do algodão na segunda safra. Fundamentalmente, os estudos realizados utilizam o gerenciamento de custo para embasar a

gestão da propriedade rural. Entretanto, utilizar ferramentas de análises de riscos e indicadores econômicos podem embasar melhor um estudo de sustentabilidade da atividade.

Outra problemática envolve a intensificação do uso da terra no estado de Mato Grosso. A estruturação do sistema produtivo em propriedades mato-grossense com algodão sofreu nos últimos anos diversas mudanças no âmbito tecnológico e também do uso da terra, com a introdução do cultivo de algodão na segunda safra, algo único em nível de agricultura mundial.

Essa alteração no sistema produtivo deixou dúvidas sobre a eficiência financeira-econômica e o risco assumido com o novo modelo produtivo. Segundo Osaki (2012), ao analisar o planejamento agrícola com cultivo de soja, milho 2ª safra e algodão safra em Campo Novo do Parecis, somente a diversificação de culturas não garante redução de risco, pois depende também da proporção de distribuição de área dos produtos. No mesmo trabalho, o autor também concluiu que o aumento de área de milho na segunda safra expõe o produtor ao maior risco. No entanto, neste estudo ou mesmo em outros na literatura disponível, não foi analisado o risco do planejamento agrícola com algodão 2ª safra no portfólio de culturas da propriedade, o que instiga o estudo.

Entender a composição do uso da terra com a diversificação de culturas para se diminuir os riscos é uma das bases de interesse para este trabalho. A falta dessa compreensão de como estruturar o planejamento da propriedade pode levar os produtores a assumir riscos acima do que estavam dispostos aceitar. Assim, ferramentas de análise de risco, como a simulação de Monte Carlo e a teoria do portfólio, podem auxiliar no desenvolvimento deste estudo.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é analisar e comparar os riscos de cultivos de algodão, soja e milho nas regiões norte, médio norte, noroeste e centro leste do estado de Mato Grosso, buscando entender as influências da diversificação de culturas e intensificação do uso da terra no processo, através dos sistemas produtivos. O período de análise envolverá as safras 2012/13 a 2015/16.

Especificamente, buscar-se-á:

- Descrever e compreender a configuração da produção de propriedades rurais que cultivam soja e algodão na primeira safra e milho e algodão na segunda safra em Mato Grosso;
- Mensurar e comparar o risco econômico da produção de soja, milho e algodão em propriedades de Mato Grosso através da simulação de Monte Carlo;
- Aplicar a teoria do portfólio para identificar a proporção de alocação das áreas no planejamento agrícola, considerando a diversidade de produtos (soja, milho e algodão) em diferentes níveis de risco.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os tópicos relacionados ao objeto deste estudo serão apresentados neste capítulo e divididos em cinco partes. Primeiramente serão contextualizadas questões sobre a Gestão da propriedade rural e na parte seguinte foca-se no risco inserido no estudo sobre Gestão de risco na atividade agropecuárias. Na terceira parte será apresentada a discussão da Diversificação da produção agropecuária como mitigadora risco. Na quarta parte serão apontadas as literaturas que consideraram Modelos estatísticos de gerenciamento de risco rural. Por fim, será apresentado um panorama mundial e nacional da soja, milho e algodão.

2.1 Gestão da propriedade rural

As discussões envolvendo gestão da propriedade rural tem ganhado cada vez mais destaque no cenário científico e até mesmo político ao passar dos tempos. O desenvolvimento de estudos tem seus primeiros registros datados em 1874, na disciplina de contabilidade rural pelo agrônomo Roberts na universidade de Cornell (EFFERSON, 1953). Entretanto, o conhecimento de gestão só foi ter seu berço no Brasil em 1948. Daí em diante, houve muito esforço do governo em criar órgãos que se preocupassem com o tema e também pudessem levar esse conhecimento aos produtores rurais (OSAKI, 2012).

O conhecimento sobre gestão é fator essencial para sucesso da qualquer empresa, assim como para as que estão inseridas no meio rural (BARROS, 2014). No entanto, a propriedade rural carrega particularidades que devem ser levadas em consideração. Kay, Edwards e Duffy (2014) colocam que a empresa agropecuária está inserida em uma série de processos de tomada de decisão, que envolvem desenvolver habilidades dos seus gestores em áreas de produção técnica, alocação de capital, adoção de novas tecnologias, mecanização, comercialização, etc..

Olson (2010) acrescenta que além de lidar com uma infinidade de fatores internos da propriedade, o gestor da propriedade rural precisa também operar com interesses externos do mercado, instituições governamentais e privadas, tecnologias e fonte de recursos de produção. Assim, esse grande espectro de fatores que compreende a propriedade rural acaba por criar oportunidades, mas também muitos problemas gerenciais que devem ser consideradas no processo de gestão da empresa rural (KAY; EDWARDS; DUFFY, 2014; OLSON, 2010).

Diante desse cenário, a gestão da propriedade surge como uma preocupação sobre o modelo de produção agrícola, que tem de enfrentar uma série de desafios para gerenciar seu

negócio, visto que está inserido em um ambiente de incerteza, utilização limitada de recursos naturais e de competição perfeita, sendo tomadora de preços tanto “antes da porteira” na compra de insumos, quanto na venda da produção no “depois da porteira” (BURTON JUNIOR et al. 1996; RODRIGUEZ; SADRAS, 2011; KAY, EDWARDS e DUFFY, 2014).

Para Burton Junior et al., (1996), a gestão da propriedade vem a ser uma ferramenta que ajuda a resolver esses problemas internos e auxiliar o produtor a planejar áreas de cultivo e gerar o máximo de retorno para os investimentos agrícolas. Outros autores, como Kay (1986) e Tung (1990), ampliam esse conceito de gestão da propriedade rural como o uso de todo conhecimento da ciência administrativa e econômica afim de melhor conduzir os recursos do seu negócio e ser capaz de assegurar um retorno satisfatório do objetivo almejado. Seguindo na mesma linha, Pereira et al. (2007) citam a gestão como ferramenta para melhor alocar os recursos disponíveis para se obter uma produtividade satisfatória, mas também considera o risco no processo de tomada de decisão.

No virar do século XXI, os problemas gerenciais da propriedade rural continuaram a ser os mesmo do passado, mas segundo Kay, Edwards e Duffy (2014), a coleta e armazenagem de dados se tornou mais ampla, permitindo que ferramentas tecnológicas proporcionem informações com maior agilidade e exatidão para o processo de tomada de decisão. Assim, para os autores, as condições de planejamento podem ser elaboradas com maior segurança a curto e também a longo prazo. Hoffmann et al. (1987) já discutia que a gestão de uma empresa, do ponto de vista administrativo, depende de um diagnóstico e planejamento, e espera-se que quanto maior o volume de informação que a empresa dispõe, mais eficaz será o resultado de sua gestão.

Osaki (2012), em seu estudo sobre gestão de propriedade rural, conclui que diversos autores corroboram que a gestão de propriedade é definida como a otimização dos meios de capitais com a finalidade de concretizar os objetivos. Para isso, o principal foco é fornecer as informações necessárias para que o gestor seja capaz de planejar, controlar e executar as atividades da empresa rural de forma que assegure a maior rentabilidade possível sob menor o risco, garantindo a sustentabilidade do negócio a longo prazo.

Sob situações de risco climático, Howden et al. (2007) e Seo (2010) colocam que os agricultores adaptam continuamente suas práticas de gestão em resposta as mudanças ambientais operacionais percebidas. O sucesso dessas adaptações está em preparar os profissionais para gerenciar os riscos climáticos, melhorar os lucros e garantir a sustentabilidade dos recursos a longo prazo.

Para Barros (2014), a continuidade do negócio à longo prazo pode ser obtida com gestão da propriedade em seu aspecto técnico da eficiência produtiva, do econômico com foco nos custos e rentabilidade, e no financeiro, com a busca de recursos monetários para realizar investimentos. Dessa forma, se propõe que a sustentabilidade do negócio agropecuário considere simultaneamente os retornos do investimento e os riscos associados às atividades conjuntas da propriedade rural.

Complementando, Rodriguez e Sadras (2011) reconhecem que agricultores gerenciam fazendas com sistemas de cultivos e não culturas individuais e que, portanto, recursos precisam ser alocados para satisfazer a eficiência econômica e financeira de múltiplos objetivos, que dificultam ainda mais as tomadas de decisão da atividade rural e exige cooperação de diversos atores da cadeia agropecuária.

Todos os autores concordam que a importância do estudo da gestão da propriedade é auxiliar o planejamento do negócio rural e a tomada de decisão do produtor, a partir das ciências aplicadas às áreas técnicas, econômica e financeiras da propriedade. No entanto, a gestão da propriedade não se aplica somente a auxiliar decisões internas, mas também no pressuposto que as informações geradas dentro da porteira podem contribuir para decisões de políticas públicas e de agentes da cadeia produtiva na qual as atividades da fazenda estão inseridas (BARROS, 2014; BRINK; MCCARL, 1978; KAY; EDWARDS; DUFFY, 2014; MYERS, 1953; OLSON, 2010)

2.2 Gestão de risco na atividade agropecuária

Para Burton Junior et al. (1996), Pereira et al. (2007), Osaki (2012), Barros (2014) e Kay, Edwards e Duffy (2014), a propriedade rural, assim como qualquer outra atividade empresarial, está inserida em ambiente de futuro incerto, que está naturalmente exposta ao risco, principalmente devido às variações climáticas (HOWDEN et al., 2007; RODRIGUEZ et al., 2011) e de que muitas das decisões tomadas por produtores são feitas com informações incompletas ou imperfeitas (MOSS, 2010; RODRIGUEZ; SADRAS, 2011).

Como proposto, as decisões da propriedade rural são complexas e podem manter um período expressivo entre o momento em que são tomadas e o momento em que os resultados se apresentam. Assim, gestores do negócio rural podem utilizar ferramenta analíticas de risco para auxiliar no gerenciamento e planejamento rural, visando minimizar essa assimetria de informações (MOSS, 2010; RODRIGUEZ; SADRAS, 2011).

Além dos inerentes riscos climáticos e de informações assimétricas dos mercados, Miller, Boehlje e Dobbins (1998) e Kay, Edwards e Duffy (2014) colocam que efeito da globalização expôs ainda mais a atividade agropecuária a riscos complexos de mercado e políticas internacionais, o qual forçou produtores a elaborar estratégias de negócios ainda mais sofisticadas. Para lidar com esse ambiente de incerteza e risco, os agricultores podem contar com diversos instrumentos, tais como o seguro, hedge, contratos futuros, diversificação, etc. Podem também inserir novas estratégias ao seu planejamento, como agregação de valor de produtos, verticalização, certificações, etc. (KAY; EDWARDS; DUFFY, 2014; RĂDULESCU; RĂDULESCU; ZBĂGANU, 2014).

Dentre todas essas ferramentas, a diversificação tem sido a mais popular na literatura sobre gestão de propriedade, visto que a seleção da atividade agropecuária é uma das decisões mais importantes do agricultor. Assim com apontam Barnard e Nix (1973) e Crepaldi (1998), o planejamento agrícola foca em otimizar a combinação de atividades, recursos disponíveis e identificação do nível de preço que o produto atingirá, para assim maximizar o lucro e mitigar os riscos.

Brink e McCarl (1978) tiveram como objetivo investigar se o risco deveria ser introduzido nos modelos de planejamento agrícola e concluiu, através de pesquisas com 38 produtores do *Corn Belt* nos Estados Unidos, que a implementação de diversificação de culturas na propriedade rural era uma medida de aversão ao risco. Seguindo o mesmo interesse de diversificação de culturas e risco, O'Donoghue, Key e Roberts (2005) concluíram em análise de dados do seguro agrícola e do censo agrícola americano de 1992 e de 1997, que produtores, independentes do tamanho da propriedade, mostraram evidência do uso de diversificação de culturas como método para reduzir risco.

Mais recentemente, Power et al. (2011) em um estudo baseado em entrevistas com agricultores, identificaram a aversão do risco em produtores de algodão e grãos na Austrália ao observar que estes preferiam gerenciar suas fazendas com diversificação de culturas do que apenas com o algodão. A primeira opção apresentava maior estabilidade e menor risco, embora o monocultivo trouxesse maior rentabilidade.

Esses últimos trabalhos mostram que a atitude do produtor é fortemente evidenciada por aversão ao risco ao escolher as combinações de cultura. Contudo, apesar de ser intuitiva a percepção de risco do produtor, ela não é racionalizada, como descreve Boggess, Anaman e Hanson (1985) e como confirmada também por Vale et al. (2007) com produtores mineiros de leite.

Outros autores trazem o risco climático para análise e comprovaram como a diversificação de culturas e atividades agropecuárias podem mitigá-lo. Hanson et al. (2007) e Rodriguez et al. (2011), concluíram que aqueles agricultores que intuitivamente adotaram sistemas agrícolas de produção mais flexíveis – diferentes culturas e intensidades de cultivo, irrigação suplementar, etc. – estiveram altamente protegidos contra ambientes de produção de alta variabilidade, como o clima e níveis de preços. Rodriguez et al. (2011) ainda acrescenta que a mitigação dos riscos climático pelos produtores australianos foi adquirida muito mais pela diversificação de culturas do que com o aumento do potencial produtivo. Hanson et al. (2007) ainda coloca que esses sistemas diversificados de cultivo são mais sustentáveis ao longo do tempo do que os monocultivos.

Nessa mesma linha, Seo (2010) verificou que fazendas em toda África com integração de agricultura e pecuária apresentaram melhores resultados econômicos em simulação climática que considerava um horizonte do aquecimento global para 2060. Para o autor, a diversificação do portfólio de atividades agrícolas permitiu mitigação do risco climático.

2.3 Diversificação da produção agropecuária

Produtores rurais procuram escolher diferentes atividades para que sua receita não dependa unicamente da produção e preço de um produto, ou seja, para que resultados insatisfatórios de uma atividade sejam compensados por outra(s) atividade(s). Esse princípio de diversificação é base da Teoria Moderna do Portfólio proposta por Markowitz (1959), em que investidores procuram reduzir os riscos, o qual estão expostos, através da composição de um carteira variada de ativos. Este assunto também é tratado nos trabalhos de Blank (1990) e Power et al. (2011), que mostraram que agricultores preferiam adotar estratégias de diversificação de culturas, do que ter maiores rendimento em especialização de cultivos.

A estratégia da diversificação de atividades agropecuárias como gerenciamento de risco pode ser aplicada de diferentes formas. A mais comum é a diversificação de produtos, no qual produtores rurais buscam a implementação de mais de uma cultura na propriedade (POWER et al., 2011) ou então a integração com atividades pecuárias (SEO, 2010).

O objetivo da diversificação é reduzir a variabilidade dos preços ao participar de mais de um mercado, mas para isso é imprescindível que os produtos tenham correlações de preços e de rendimentos negativos (MARKOWITZ, 1959), ou seja, quanto mais os mercados de cada produto se movimentarem em direções contrárias, menor será o risco o qual o

empreendimento rural estará exposto (KAY; EDWARDS; DUFFY, 2014; OLSON, 2010; RĂDULESCU; RĂDULESCU; ZBĂGANU, 2014)

O agricultor também pode optar por diversificação de produtos que não estejam ligadas ao agronegócio (KAY; EDWARDS; DUFFY, 2014; OLSON, 2010). Nesse caso, produtores podem optar por investir em ações e títulos, construir empreendimentos em outras áreas, ter um emprego não-rural nos períodos de entressafra, ou seja, qualquer atividade fora da fazenda que venha agregar à sua renda pessoal.

Realizar cultivo de atividades agropecuárias em localidades geograficamente distantes também um tipo de diversificação utilizada para gerenciar riscos. Nesse modelo de diversificação espacial, busca-se reduzir riscos relacionados ao clima de uma única atividade da empresa rural ou de atividades que tenham correlação positiva no mesmo local (OLSON, 2010; RĂDULESCU; RĂDULESCU; ZBĂGANU, 2014)

Outra proposta de diversificação é a distribuição temporal de produtos e que o produtor escalone a produção e se proteja da variabilidade de preços de mercado vendendo a produção em diferentes momentos no ano-safra (KAY; EDWARDS; DUFFY, 2014). Olson (2010) ainda ressalta que essa estratégia de diversificação atenua riscos financeiros, por propiciar receitas distribuídas ao longo do ano-safra.

Como a proposta deste trabalho considera o cultivo de soja, algodão safra, milho 2^a safra e algodão 2^a safra, é possível inserir alguns dos aspectos das estratégias de diversificação citadas, principalmente no que confere a seleção de produtos diferentes e escalonamento da produção. Soja, milho e algodão possuem mercados diferentes e utilizar o semeio do algodão em safra e 2^a safra permite escalonar a produção.

2.4 Modelos estatísticos de gerenciamento de risco rural

Muitos trabalhos sobre gestão da propriedade rural introduziram o componente risco para escolher a melhor combinação entre as diversas atividades possíveis de uma propriedade rural. Para avaliar esses riscos inerentes da atividade agropecuária, utilizaram modelos de programação como a Teoria do Portfólio proposta por Markowitz (1959), programação quadrática de média-variância (E-V) elaborado por Freund (1956), a simulação de Monte Carlo desenvolvida por Hertz (1979), assim como o Motad (Minimização do Desvio Absoluto Total) desenvolvida por Hazell (1971) e a programação quadrática de expectativa de ganho fundamentada por Scott e Baker (1972).

Em 1971, Hazell propôs o modelo Motad para auxiliar o planejamento agrícola sobre a ótica de incerteza dos custos, produtividade e preço. Seguindo esse modelo, os autores Held e Zink (1982) avaliaram a combinação de atividades agrícolas com pecuária para propor a diminuição de risco das culturas agrícolas com a introdução de pecuária no sistema.

Ao utilizar a ótica das modelagens Motad e Modelo E-V, De Zen (2002) estudou a diversificação de atividades no gerenciamento de risco da propriedade com agricultura (soja, milho, algodão e trigo) e pecuária em Mato Grosso e Rio Grande do Sul. Diante das duas metodologias, que utilizam a matriz de variância e covariância como medida de risco, construiu uma fronteira de eficiência com base nas receitas líquidas pelo risco. Concluiu dessa forma que a diversificação reduz os riscos do produtor nos dois modelos, independentemente do tamanho da propriedade.

Esperancini (2006) também focou seus estudos na avaliação econômica da diversificação de culturas, mas no estado de São Paulo, sobretudo na sucessão de culturas ou dupla safra. Ao todo, avaliou seis sistemas, dos quais três consideraram soja no verão, dois com milho irrigado no verão e um com algodão safra. As culturas de sucessão às de verão foram o milho 2ª safra, feijão de inverno irrigado, sorgo granífero e batata de inverno irrigada. Para avaliar o risco desses sistemas de sucessão, a pesquisadora utilizou a simulação de Monte Carlo, considerando as variáveis de riscos: os preços, produtividade e custo de produção. Seus resultados mostraram que a introdução de milho 2ª safra sucedido pela soja reduziu o retorno médio e aumentou o risco do sistema. Outro resultado interessante foi que a introdução do sorgo em sucessão a soja registrou leve aumento do retorno econômico para o sistema, sem impactar no risco.

Já Ponciano et al. (2004) buscaram analisar a viabilidade econômica da fruticultura do norte fluminense com oito opções (manga, goiaba, graviola, tangerina, pinha, coco-da-baía, banana e abacaxi). Além disso, analisaram o risco de cada cultura pelo método de Monte Carlo, tendo como variáveis que afetam o risco os preços dos insumos e de venda da produção. Contudo, o trabalho não considerou na avaliação a possibilidade da combinação das atividades agrícolas e todas as variáveis de incertezas foram ajustadas para distribuição triangular, sem identificação por teste.

No entanto, Souza et al. (2008) evoluiu em relação ao trabalho anterior ao procurar identificar a otimização de recursos de fruticultores familiares no Rio de Janeiro. Para isso, se utilizou da programação linear com aplicação do modelo matemático Motad, considerando a margem bruta de retorno de nove culturas (abacaxi, banana, cana-de-açúcar, coco, goiaba, laranja, mandioca, maracujá e pinha) para construir a fronteira de eficiência, constatando que

o sistema produtivo envolvendo maracujá e goiaba foi o que menos reduziu o risco de preços do mercado.

Voltando para sistemas agrícolas com pecuária, Coelho Junior et al. (2008) avaliaram os riscos de implementação de um sistema agrossilvopastoril, que combina agricultura, pecuária e produção florestal em uma mesma propriedade. Para isso, os autores aplicaram a simulação de Monte Carlo para gerar dados hipotéticos do fluxo de caixa e dimensionar o risco a partir dos indicadores de Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) do sistema proposto. No entanto, o trabalho só avaliou o risco de uma estrutura hipotética fixa e não procurou encontrar a fronteira de eficiência com as diferentes proporções das atividades envolvidas.

Novamente na fruticultura, e fundamentada nas grandes oscilações e altos investimentos de implantação da citricultura, Adami (2010) analisou a viabilidade econômica do citros a partir do indicador VPL e o risco por aplicação da simulação de Monte Carlo. Foi utilizado como base do projeto os coeficientes de produção da Embrapa em Bebedouro (SP) e os custos da Associtrus. As variáveis de incerteza consideradas no estudo foram o preço dos insumos, preço da laranja, produtividade, taxa de câmbio e preço externo do suco de laranja concentrado congelado, em que houve uma preocupação em estabelecer uma matriz de covariância entre elas, para depois se realizar as simulações e calcular o VPL, algo que não foi relatado nos trabalhos com Monte Carlo anteriormente citados.

Dill, Cruz De Souza e Borba (2010) procuraram desenvolver um modelo para otimizar a combinação de culturas de verão (soja, milho e girassol), utilizando a programação linear aplicada a Teoria de Portfólio de Markowitz. Os resultados demonstraram que a cultura com maior retorno foi o girassol, mas também a com maior risco. Assim, conclui-se que a combinação entre as três culturas pôde otimizar o melhor retorno com menor risco. O levantamento dos dados por estudo de caso considerou na análise de risco apenas das culturas de verão, sem incorporar opções de cultura de inverno ou cobertura verde, que também compõe o sistema produtivo gaúcho. Além disso, a fator de risco foi focado em apenas uma variável, que foi o preço de venda de cada cultura.

Fernandes (2012), com objetivo de determinar a melhor combinação de recursos a serem alocados em um sistema de lavoura-pecuária com menor risco, também procurou utilizar a Teoria de Portfólio proposta por Markowitz. Dentre as cinco atividades analisadas (bovinocultura de corte, soja, milho, arroz e feijão), uma combinação de todas atividades resultou no portfólio com menor risco entre os resultados simulados.

Focados apenas em atividades agrícolas, Melo, Silva e Esperancini (2012) se propôs a avaliar os riscos entre as opções de cultivo de soja e milho na safra de verão do estado do Paraná, utilizando o modelo de simulação de Monte Carlo. Os resultados apontaram que as duas atividades agrícolas são mais sensíveis ao preço do que ao custo e as simulações indicaram que a soja apresentava maior rentabilidade à medida que crescia o risco, quando comparada ao milho.

O modelo de tomada de decisão desenvolvido na tese de Osaki (2012) contemplou propriedades com multiprodutos (soja, milho e algodão) em Sorriso e Campo Novo do Parecis, utilizando a metodologia Motad, para mostrar que a diversificação de culturas tende a minimizar o risco. Contudo, a adição do algodão safra em Campo Novo do Parecis não mitigou risco, visto que sua introdução gerou um custo específico. Ainda mostrou que o aumento da área de milho na segunda safra maximiza o risco da propriedade.

Trabalhos envolvendo risco também foram desenvolvidos fora da esfera unicamente econômica, incorporando também variáveis técnicas agronômicas. Gabriel, Garrido e Quemada (2013) avaliaram três estratégias envolvendo culturas de cobertura cultivadas na linha do milho e compararam os resultados econômico e ambiental em relação a uma típica rotação de milho seguido de pousio. A comparação foi realizada através do modelo estocástico de simulação Monte Carlo aplicado às variáveis: biomassa da cultura de cobertura, absorção de nitrogênio, preços (milho, biomassa da cobertura e fertilizante) e variação do rendimento. O estudo demonstrou que o sistema de milho-pousio apresenta menos risco do que o milho intercalado com culturas de cobertura.

Carvalho et al. (2014), para avaliarem os riscos envolvidos as grandes oscilações de preços de venda e custo de mão de obra da produção de tomate em Cambuci/RJ, utilizaram simulação de Monte Carlo. O estudo avaliou a viabilidade de um projeto de produção de tomate na região carioca, constatando que havia baixo risco de implementação, com uma taxa de 10% de probabilidade de resultar em VPL negativo.

Figueiredo et al. (2014), com auxílio de programação linear aplicada a teoria do portfólio de carteiras de Markowitz, procuraram identificar qual a proporção de recursos alocar nas atividades de pecuária, arroz, feijão, milho e soja para uma propriedade em Goiás. Para isso, foi necessário o conhecimento da rentabilidade de cada atividade que compõe a integração lavoura-pecuária, para se estabelecer a fronteira de eficiência e permitir aos produtores escolher o risco que se encaixa a seu perfil.

Ampliando as análises, Rădulescu, Rădulescu e Zbăganu (2014) apresentaram um modelo multiobjetivo de planejamento de culturas na agricultura baseada na abordagem da

teoria do portfólio de Markowitz. O modelo proposto teve como objetivo encontrar uma alocação ótima de culturas e uma taxa de aplicação ótima dos produtos químicos, de modo que o risco financeiro e as penalidades monetárias pagas pela poluição ambiental fossem minimizados e o retorno esperado da produção agrícola maximizado. O modelo analisou diversas complexidades da gestão da propriedade, considerando não apenas o risco de mercado, como a maioria dos artigos publicados com o tema, mas também os riscos climáticos e, principalmente, aspectos ambientais.

O trabalho de Osaki e Batalha (2014) foi um dos poucos que se atentou em estudar o risco em propriedades rurais com dupla safra de grãos no Brasil. Considerando uma propriedade típica na região de Sorriso em Mato Grosso, o trabalho objetivou traçar a curva de fronteira de eficiência que representa a maximização dos fatores de produção através do modelo Motad – minimização de desvios absolutos totais. Ao observar a alocação das áreas com as opções de soja no verão e milho para segunda safra e seus retornos absolutos, os autores concluíram que a diversificação de culturas nem sempre contribuem a mitigação do risco. Especificamente, o aumento da área de milho segunda safra e, conseqüentemente, de soja precoce no verão, pode aumentar a margem bruta, mas também o risco.

Gomes (2015) buscou analisar a viabilidade econômica e o risco gerado em sistemas de produção com integração lavoura-pecuária em uma propriedade de Tangará da Serra. Através do modelo de simulação de Monte Carlo, o trabalho permitiu concluir que o sistema misto agropecuário diminuiu os riscos em relação a atividade agrícola com soja e milho. As variáveis de incerteza utilizadas na simulação foram a produtividade de grãos e o preço de soja, milho e boi.

Simões, Cabral e Oliveira (2015) focaram em estudar a viabilidade da atividade citrícola no centro-oeste de São Paulo sob condições de risco. Considerando as condições de incerteza para 15 variáveis relacionadas a custos de produção, receita da produção, transporte e variações de taxas de juros, foi construído um modelo estocástico pelo método de Monte Carlo. Foram identificados que contratos de venda da produção acordados com a indústria e o preço é que mais expõe uma propriedade citrícola ao risco.

Stott et al. (2016) utilizaram simulações de Monte Carlo como ferramenta para tomada de decisão sobre a rentabilidade e os riscos de uso de fertilizantes fosfatados na produção de trigo no sul da Austrália. Como variáveis de risco foram utilizadas simulações do preço esperado do trigo armazenado e o custo do fertilizante P (fosfatado) entregue e espalhado. O resultado apontou que a melhor decisão seria aplicar 45 kg P/ha para um produtor avesso ao risco.

Visando dimensionar os riscos econômicos e climáticos envolvidos no cultivo de algodão da Austrália, Luo, Behrendt e Bange (2017) construíram uma modelagem para avaliar as condições do algodão irrigado e de sequeiro no horizonte de 2030, considerando um sistema com possibilidade de trigo. Para as condições de risco foi utilizado o método de Monte Carlo para simular os rendimentos produtivos do algodão e do trigo como as variáveis de incerteza. O risco associado a cada estratégia de adaptação é medido como Coeficiente de Variação (CV) do retorno sobre os ativos de forma que se encontre a estratégia que maximize a rentabilidade em um determinado nível de risco. O resultado demonstrou que não há padrão estratégico para as regiões da Austrália que permitam o produtor lidar com o risco. Portanto, cada local deve lidar de forma diferente e aproveitar as oportunidades do futuro.

Muitos desses trabalhos, inclusive os mais recentes, se preocuparam em analisar o risco em propriedade com diversidade de atividades agrícolas e pecuária, mas poucos tiveram foco na intensificação do uso da terra com plantio na segunda e apenas dois trabalhos (DE ZEN, 2002; OSAKI, 2012) consideraram o algodão no portfólio de culturas. Por essa carência de estudo, é que se objetiva focar na análise do risco do sistema de produção com soja, milho e algodão, em que os cotonicultores mato-grossenses estão inseridos.

2.5 Soja, milho e algodão: panorama mundial, brasileiro e mato-grossense

O Brasil é um dos mais importantes produtores e exportadores de grãos e fibras do mundo. Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2017) entre as safras 2014/15 e 2016/17 o Brasil foi responsável por 31,2% da produção mundial de soja, 8% da produção de milho e 6% da produção de algodão em pluma no mundo.

Entre as safras 2014/15 e 2016/17 de soja, o Brasil se posicionou no cenário mundial como segundo maior produtor, ao atingir 102,6 milhões de toneladas produzidas, abaixo somente dos Estados Unidos, que produziram 110,3 milhões de toneladas (Figura 1). Desde a safra 2012/13, o Brasil é o maior exportador de soja em grão do mundo, sendo que na temporada 2015/16 foi responsável por 42,4% dos 145,2 milhões de toneladas de soja em grão exportadas por todo o mundo (USDA, 2017). O posicionamento brasileiro como grande player econômico de soja está atrelado à sua agricultura altamente tecnificada (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014), o qual permitiu ao país atingir a segunda maior produtividade observada na safra 2016/17, abaixo somente da observada nos EUA (USDA, 2017).

Figura 1. Produção, volume exportado e produtividade da soja em grãos – média entre as safras 2014/15 e 2016/17.

Fonte: USDA (2017)

Figura 2. Produção, volume exportado e produtividade de milho em grãos – média entre as safras 2014/15 e 2016/17.

Fonte: USDA (2017)

O Brasil também possui grande representatividade no cenário mundial da produção de milho, sendo que entre as safras 2014/15 e 2016/17 manteve seu posto de terceiro maior produtor, que estende desde a temporada 2011/12. Na safra 2016/17 produziu 97 milhões de toneladas, atingindo o montante recorde nacional; nas três safras anteriores havia produzido, em média, 83 milhões de toneladas (Figura 2). No entanto, sua principal importância está sobre as exportações, em que desde a safra 2011/12 ocupa a segunda posição, com exceção da

safras 2015/16, quando registrou forte quebra produtiva devido escassez de chuva na segunda safra.

No entanto, a produtividade do milho brasileiro está bem abaixo dos principais produtores. Enquanto a Argentina e Estados Unidos produziram, respectivamente, 8.367 kg/ha e 10.960 kg/ha (média da safra 2016/17), o Brasil apresentou média de 5.542 kg/ha (USDA, 2017). A diferença produtiva está atrelada principalmente a produção de milho brasileiro ser concentrada na segunda safra, em que a cultura está sujeita a riscos climáticos e diminuição de potencial produtivo (BORSATO, 2013; SOBENKO et al., 2016). Segundo dados da Conab (2018), desde a safra 2013/14, a segunda safra de milho é responsável por mais de 60% da produção brasileira do cereal.

Figura 3. Produção, volume exportado e produtividade de algodão – média entre as safras 2014/15 e 2016/17.

Fonte: USDA (2017)

Mundialmente, o Brasil se encontra como quinto maior produtor de algodão e, de acordo com os dados do USDA (2017), entre as safras 2014/15 e 2016/17 produziu em média 1,38 milhões de toneladas de algodão em pluma, frente aos 23,4 milhões produzidos mundialmente (Figura 3). Contudo, o país se destaca no cenário de exportação, em que, nessas três safras representou 10% do total de pluma exportado, se configurando como terceiro maior exportador mundial, atrás somente de Estados Unidos e Índia. Sobretudo, o Brasil está à frente no que se refere a tecnologia de cultivo, visto que desde 1997 está apresentando crescimento em termos de produtividade e se encontra entre as três maiores produtividades atingidas das últimas 15 safras (USDA, 2017).

A produção de soja, milho e algodão tem um importante papel econômico no desenvolvimento agrícola do Brasil, sobretudo a produção de grãos. Segundo os últimos dados do (IBGE, 2017), a soja é o principal produto agrícola brasileiro, sendo que em 2015 foi responsável por 40,8% do Valor Bruto da Produção (VBP) agrícola (Figura 4). O milho também tem uma forte representatividade sobre valor bruto gerado pela agricultura brasileira, e em 2015 constituiu 13,4%, estando logo abaixo da cana-de-açúcar.

No entanto, o algodão tem uma representatividade modesta sobre o valor bruto produzido na agricultura quando comparado aos outros produtos. Nos dados observados para 2015, a cotonicultura foi responsável por 3,5% do VBP agrícola brasileiro, sendo o quinto produto de maior representatividade para a agricultura.

Figura 4. Representatividade (%) do Valor Bruto da Produção (VBP) de algodão, milho e soja sobre o valor total gerado pela agricultura em cada estado brasileiro em 2015.

Fonte: IBGE (2017)

Apesar da baixa representatividade do VBP do algodão sobre a agricultura do Brasil, é sob a ótica do valor gerado por estado que intensifica sua importância. Do total gerado pelo algodão brasileiro em 2015, dois estados foram responsáveis por quase 90% do total: 56,8% produzido pelo Mato Grosso e 32,6% pelo estado da Bahia. Dessa forma, fica expressa a importância econômica da cotonicultura para o agronegócio mato-grossense, que juntamente com a soja e milho em 2015, somaram 92,7% do VBP agrícola produzido no estado (11,9% foi do algodão, 15,6% do milho e 65,2% da soja).

No cenário nacional, o estado de Mato Grosso se destaca como maior produtor brasileiro de soja, milho e algodão, segundo os dados da Conab (2018) (Figura 5). Na safra

2016/17, o estado mato-grossense foi responsável por 26,7% da produção nacional de soja, seguido pelo estado do Paraná, com 17,2%, e do Rio Grande do Sul, com 16,4%.

Quanto ao milho, em Mato Grosso se produziu 29,5% da produção brasileira na safra 2016/17, seguida pela produção do estado do Paraná, que representou 18,2%, e do Mato Grosso do Sul e Goiás, em que cada estado produziu cerca de 10% da produção nacional. Do total produzido no Mato Grosso, 99,1% foram cultivados na segunda safra (CONAB, 2018).

No cenário do algodão, na safra 2016/17 a oferta do estado de Mato Grosso representou 66% do volume nacional, prevalecendo o cultivo em segunda safra. Segundo dados do Imea (2018), na temporada 2016/17 a segunda safra ocupou 88% da área total de algodão em Mato Grosso (Figura 6). A introdução do algodão na segunda safra em Mato Grosso ocorreu, como descrito por Ferreira Filho, Alves e Gottardo (2011), para vencer os desafios do alto custo e da baixa competitividade da pluma brasileira, ganhando notoriedade a partir da safra 2008/09.

Figura 5. Participação dos estados na produção de soja, milho e algodão em caroço na safra 2015/16 do Brasil.

Fonte: Conab (2017)

Figura 6. Distribuição das áreas de produção de algodão 1ª safra e 2ª safra em Mato Grosso entre as temporadas 2008/09 e 2016/17.

Fonte: Imea (2018)

No início, vislumbrando a redução de custo, o algodão 2ª safra se concentrava no cultivo adensado com espaçamento 0,45 m entre linhas, que segundo estudo de Ferreira Filho, Alves e Gottardo (2011), reduziu o Custo Total entre 10% e 21% em relação ao algodão safra. Contudo, os altos preços da pluma no mercado em 2010 voltaram a deixar o algodão atrativo e assim diminuindo a representatividade do algodão 2ª safra, inclusive do adensado. Alves, Lima e Ferreira Filho (2014) citam que na safra 2013/14 o adensado de 0,45 m entre linhas representou apenas 10% do total semeado no estado, conforme dados apresentados por Tachinardi (2015).

Mesmo assim, o algodão 2ª safra começou a ter maior representatividade já na temporada 2011/12 e manteve sua superioridade nas safras seguintes (IMEA, 2018). Índícios sobre o crescimento da representatividade do algodão segunda se fundamentam também na atratividade do cultivo de soja nos últimos anos e na maior rentabilidade que o sistema com algodão na segunda safra pôde gerar quando comparado com sistemas com soja e milho ou apenas algodão safra. Alves, Barros e Osaki (2015) sustentam esse indício ao apresentar que a receita líquida e rentabilidade dos sistemas soja + algodão 2ª safra e algodão safra superaram os resultados observados para soja seguindo de milho 2ª safra, na avaliação mensal entre 2009 e 2014.

Na seção seguinte, se descrevem os processos metodológicos utilizados no presente trabalho.

3 METODOLOGIA

3.1 Dados e objeto de estudo

Os dados utilizados nesse estudo foram coletados pelo Centro de Estudos Avançados e Economia Aplicada (Cepea) por meio do método de estudo caso, e são referentes aos dados individuais de vinte propriedade para as safras 2012/13, 2013/14, 2014/15 e 2015/16 (CEPEA/AMPA/IMAMT, 2018). Foram segmentados os dados das diferentes tecnologias utilizadas em cada cultura, como convencional e as geneticamente modificadas. Os dados se referem às propriedades das regiões centro leste, noroeste, médio norte e norte do Mato Grosso, conforme a divisão técnica da Ampa (2018) da Figura 7.

Como o objetivo do trabalho é analisar os riscos de propriedades que produzem algodão, com sistemas de produção que envolvem até duas safras, os dados para o estudo foram divididos em duas regiões. A primeira corresponde à região centro-leste do Mato Grosso (AMPA, 2018), que será chamada de Centro Leste, e a segunda agrega as regiões noroeste, médio norte e norte do estado, que será nomeada de Agregado Norte. Dessa maneira, o estudo poderá ser analisado por dois conjuntos de sistemas que envolvem a) o algodão 1ª safra, soja e milho 2ª safra e b) a soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra.

Figura 7. Divisão dos núcleos regionais da Associação Matogrossense do Algodão (AMPA).
Fonte: Ampa (2018)

A região Centro Leste não apresentou algodão 2ª safra nos dados coletados, por uma restrição climática. Segundo Rosolem (2014), a região compreende condições favoráveis para a semeadura do algodão até fevereiro, o que possibilitaria uma segunda safra com algodão. No entanto, as condições de clima favoráveis para o algodão em segunda safra só poderiam estender para os quatro primeiros ramos da planta, sendo que os posteriores sofreriam com temperaturas baixas e *déficit* hídrico, reduzindo a produtividade. Portanto, a região Centro Leste se limita ao cultivo do algodão safra, como um meio de evitar os riscos climáticos.

A região Agregado Norte, por outro lado, não possui restrições quanto ao semeio e cultivo do algodão para segunda safra, sendo que essa região foi responsável por grande parte do aumento do cultivo da segunda safra de algodão no estado (IMEA, 2018). Além disso, a escolha pelo sistema soja seguido de algodão 2ª safra ao invés do algodão safra nessa região se fez pela superior rentabilidade dos sistemas com soja nas últimas safras (ALVES; BARROS; OSAKI, 2015).

Para essas regiões, 20 propriedades representam os dados das quatro safras consideradas nesse estudo, dos quais, algumas destas participaram em mais de uma temporada. Como os dados de custos foram levantados para as diferentes tecnologias geneticamente modificadas de cada cultura, somou-se 35 estruturas de custos de produção de algodão safra no período analisado, e 41 estruturas de custos de algodão 2ª safra. Para soja, foram 31 estruturas de custos de produção e 31 outros de milho 2ª safra – todas em R\$/ha.

Os dados das estruturas de custos foram coletados ao fim de cada ano safra e correspondem aos coeficientes técnicos de cultivo efetivos da temporada. Os preços dos insumos agrícola se referem aos valores, à vista, pagos pelo produtor no ano safra vigente. Ou seja, os dados se referem ao que ocorreu na propriedade na safra levantada.

As produtividades de cada cultura correspondem aos valores médios registrados em cada propriedade no ano safra. Contudo, a coleta de dados foi realizada no período em que boa parte da produção agrícola não estava comercializada e, portanto, tomou-se os valores dos preços mensais da comercialização de soja, milho e algodão para cada região, e referente ao período de 2012 e 2016 do banco de dados da equipe de mercados do Cepea (2018).

Para os fins dessa pesquisa, os valores dos itens do custo de produção foram todos corrigidos com o IGP-DI com base dezembro de 2017. Como os valores dos custos representam uma safra específica e cada cultura tem diferentes momentos de compra de insumos, estipulou-se distintos períodos para deflacionar o custo da soja, milho e algodão de cada safra.

O deflator do ano safra da oleaginosa compreendeu entre junho de um ano e julho do ano seguinte. Assim, para deflacionar o custo da safra 2011/12 de soja, considerou a média registrada do IGP-DI entre junho de 2011 e julho de 2012 e então trazido para os valores base dezembro 2017 do deflator. No caso do algodão e milho, considerou-se o período entre outubro de um ano e setembro do ano posterior.

3.2 Estrutura de custo de produção

O critério de custo de produção utilizado no estudo foi o do Custo Total. Por este critério estão computados os Custos Operacionais (CO) mais o Custo Anual de Reposição do Patrimônio (CARP) das máquinas, implementos e benfeitorias, baseado no estudo de Barros (2014).

Os custos operacionais da propriedade podem ser subdivididos em custeio, despesa com comercialização, arrendamento despesa financeira e despesa com tributos e contribuições. O custeio representa todos os custos referentes diretamente com a produção, compreendendo custo com insumos (fertilizantes, defensivos e sementes), operação mecânica (diesel e manutenção), mão-de-obra e operações terceirizadas. Este último, compreende serviços realizados por terceiros e também materiais utilizados na colheita, como os filmes de plásticos utilizados nas colhedoras enfardadeiras de algodão. A despesa com comercialização refere-se aos gastos do produtor com classificação, padronização e impostos na comercialização do produto, inclusive o transporte de produção.

O arrendamento¹ computa o custo com aluguel da terra para o cultivo de determinado produto num determinado período de tempo. Na sequência, as despesas financeiras são os gastos computados com financiamento do custeio agrícola, de bens duráveis (máquinas, implementos, estufas e galpão) captados com instituições e submetidos a juros sobre o capital de giro. Por fim, as despesas com tributos e contribuições tratam de valores de impostos, contribuições e tributos descontados no momento da comercialização do produto.

Para calcular a depreciação e o custo de oportunidade do capital fixo, foi considerado o método matemático do Custo Anual de Reposição do Patrimônio (CARP). Este é a base de cálculo que o produtor precisa considerar visando a sustentabilidade no negócio empresarial. Para o patrimônio se manter a longo prazo, a terra tem de manter sua fertilidade e capacidade

¹ Arrendamento rural é o contrato agrário pelo qual uma pessoa se obriga a ceder à outra, por tempo determinado ou não, o uso e gozo de imóvel rural, parte(s) do mesmo, incluindo ou não outros bens, benfeitorias e ou facilidades, com o objetivo de nele ser exercida atividade de exploração agrícola, pecuária, agroindustrial, extrativa ou mista, mediante certa retribuição ou aluguel, observados os limites percentuais da Lei.

produtiva, as benfeitorias ser periodicamente reconstruídas, as máquinas e equipamentos periodicamente renovados, o rebanho mantido, por meio da sua própria produção e remuneração (BARROS, 2014), ou seja, o CARP representa o quanto cada ativo real da fazenda deve proporcionar para um novo ativo de mesma proporção seja adquirido no final de sua depreciação. Para melhor visualização do estudo será apresentado apenas o CARP da estrutura, que representa o custo anual de reposição de máquinas, implementos e benfeitorias.

Como alguns itens da estrutura de produção de grãos e algodão são destinados apenas para uma determinada atividade, foi alocado o CARP dos maquinários e implementos para a cada cultura específica. A exemplo, uma colhedora de algodão, que tem o CARP computado apenas no custo de produção da cotonicultura.

Por fim, a Receita Bruta (RB) do custo de produção é produto da produtividade e do preço de comercialização da produção de cada cultura.

3.3 Análise estocástica de risco

Na bibliografia econômica, incerteza e risco estão separados pela condição de que o segundo permite a probabilidade de mensurar ocorrências futuras com base na disponibilidade de informações conhecidas (ESPERANCINI, 2006). Os conceitos de incerteza e risco estão frequentemente relacionados a análises estocásticas, nas quais medidas de desempenho apresentam mais de um resultado possível, diferente das análises determinísticas. Uma técnica válida para análises probabilísticas é o Monte Carlo.

3.3.1 Simulação de Monte Carlo

Para realizar análises econômicas com incorporação do risco, uma das principais ferramentas utilizadas é a simulação de Monte Carlo (MARTINES FILHO; PERES, 1998). A metodologia denominada como simulação de Monte Carlo, desenvolvida por Hertz (1979), é um modelo de risco eficaz para ser aplicado a fluxos de caixas e assim medir risco sobre variáveis sobre a qual não se tem domínio quanto ao seu comportamento e que são significantes na tomada de decisão (OLIVEIRA; MEDEIROS NETO, 2012).

A seleção das variáveis que influenciam o risco em determinado sistema é um ponto crucial antes da aplicação do método de simulação de Monte Carlo. Segundo Kay, Edwards e Duffy (2014), as fontes de risco e incerteza que podem ser controladas são a de produção, comercialização, financeiro, jurídico e pessoal. Dentre a base da literatura levantada nesse

estudo, preço e produção que incorporam os itens do custo de produção são as duas variáveis de risco na agricultura que podem ser quantificadas e objeto de previsão para uma análise estocástica. Portanto, o trabalho deve assumir como variáveis para simulação os itens do custo operacional (insumos, mão de obra, operações mecânicas, impostos, juros, entre outros), a produtividade e preço de venda da produção de cada produto cultivado.

O trabalho desenvolvido por Hertz (1979), um dos primeiros a utilizar a metodologia estocástica de Monte Carlo, propõe que a análise deve seguir por quatro passos fundamentais, os quais serão implementados neste estudo:

1. Identificar a distribuição de probabilidade de cada variável que afeta o risco;
2. Selecionar um valor ao acaso de cada variável de estudo, baseada em sua função de distribuição de probabilidade;
3. Calcular o indicador econômico de desempenho a partir dos valores aleatórios gerados pela distribuição estatística de cada variável;
4. Repetir os passos 2 e 3 até que a distribuição de probabilidade do indicador de desempenho satisfaça os requisitos para a tomada de decisão.

Diversos autores apontaram para a dificuldade e cuidado que se deve ter na identificação correta das distribuições de probabilidade das variáveis de risco (EVANS; OLSON, 1998; MINARDI, 2000; BURNHAM; ANDERSON, 2004). Neste trabalho, o ajuste da distribuição de probabilidade de cada variável que afeta o risco foi baseado no Critérios de informação de Akaike (AIC), que avalia a qualidade do modelo paramétrico estimado pelo método de máxima verossimilhança (AKAIKE, 1974). Em outras palavras, o critério AIC classifica quais os modelos teóricos se ajustam a distribuição dos dados da amostra, sendo que quanto menor o valor do AIC, mais próximo a distribuição com base na amostra estará do modelo “verdadeiro”.

O teste Akaike se faz uma melhor escolha pois é uma ferramenta para seleção de modelos, que permite o pesquisador escolher a distribuição estatística que melhor se ajusta ao contexto de pesquisa (BURNHAM; ANDERSON, 2004). Este teste se diferencia dos clássicos de Anderson-Darling (AD) e Kolmogorov-Smirnov (KS), que foram desenvolvidos unicamente como ferramentas de validações de modelo.

Tendo em vista que as distribuições de probabilidade escolhidas para cada variável são modelos teóricos com aproximação dos valores reais, podem ocorrer números negativos nas simulações, o que não seria aplicável para séries de preços de insumos, de venda da produção ou de produtividade. Portanto, antes da simulação – passo 2 do Monte Carlo – foram

adicionados truncamentos em cada função de distribuição sobre o valor zero, para restringir os modelos a valores positivos.

Outro problema crucial da simulação de Monte Carlo é determinar a interdependência entre as variáveis (EVANS; OLSON, 1998; MINARDI, 2000). Para isso, foi construída uma matriz de correlação das variáveis de risco.

Com isso, a definição das funções de distribuição é dada por:

$$df_{ic} = f(inp_{ics})$$

em que:

df = função de distribuição;

inp = valor do custo de produção de um insumo, ou preço de venda ou produtividade;

i = item de custo de produção ou de análise;

c = cultura sob análise (soja, algodão 1ª safra, algodão 2ª safra, milho 2ª safra);

s = ano-safra.

A partir dos parâmetros estabelecidos das distribuições escolhidas por meio do AIC, foram simuladas 10.000 interações aleatórias de cada fator de risco (inputs) para formar o custo de produção e receita (outputs) de cada cultura em análise.

Os números aleatórios para cada variável (input) do risco são representados por:

$$Alinp_{jic} = f(df_{ic})$$

em que:

$Alinp$ = Distribuição de frequência relativa de cada “i”;

j = cada valor simulado, vai de 1 a 10.000.

Para cada rodada de simulação “j”, os valores dos *inputs* são somados para formar o custo de produção e receita, que são matematicamente escritos por:

$$OCR_{jc} = \sum_{j=1}^n Alinp_{jic} \quad n = [1; 10.000]$$

em que:

OCR_{jc} = Frequência cumulativa da distribuição do custo operacional, para a cultura sob análise;

Por fim, a margem de contribuição para analisar o risco é dada pela Receita Líquida Operacional (RLO) e Receita Líquida Total (RLT), calculadas pela subtração da Receita Bruta (RB) pelo Custo Operacional (CO) e Custo Total (CT), respectivamente. A representação matemática é dada por:

$$RLO_{jc} = RB_{jc} - CO_{jc}$$

e

$$RLT_{jc} = RB_{jc} - CT_{jc}$$

Assim, formadas as receitas líquidas derivadas das 10.000 simulações, poderá ser avaliado o risco em cada uma das culturas analisadas nos dois recortes regionais do Mato Grosso. Ao fim, irá se obter distribuições estatísticas das RLO's e RLT's de cada cultura, podendo se avaliar qual a probabilidade de margem negativa, ou seja, o risco do cultivo na região.

Para todo o processo descrito nesta seção, será utilizado o software comercial @Risk².

3.3.2 Teoria de portfólio e Fronteira de eficiência

Em sua tese, Markowitz (1959) defendeu como é possível diminuir os riscos por meio de uma diversificação dos ativos, em que a proposta central é estruturar um portfólio de carteira em que a combinação dos ativos selecionados não tenha correlação perfeita e positiva. Assim, perdas resultantes de ativo podem ser compensadas pelo lucro de outro ativo que esteja correlacionado negativamente.

A Teoria de Portfólio compõe o pressuposto de que investidores são avessos ao risco e o critério de decisão corresponde àquela combinação de carteiras que oferece o menor risco dentro de um retorno esperado, ou então, o maior retorno possível dentro de um nível de risco aceitável. Em outras palavras, a teoria do portfólio trata de traçar a composição de uma carteira ótima de ativos, buscando construir uma fronteira de eficiência capaz de analisar a relação do Risco e Retorno (ASSAF NETO, 2012; MARKOWITZ, 1959).

Uma das premissas principais da teoria de carteiras de Markowitz (1959) é que as variáveis de interesse do investidor seriam a rentabilidade e o risco. Outra é que os investidores são avessos ao risco e podem reduzir sua exposição através da diversificação. Para negócios rurais, os principais ativos de diversificação da renda são a produção agropecuária e a cada ano-safra os produtores rurais precisam determinar a proporção de cada

² Software desenvolvido pela Palisade. Maiores informações: <<http://www.palisade-br.com/risk/>>.

atividade na combinação, considerando que o efeito da diversificação de culturas seja refletido sobre o risco, semelhante ao que ocorre nas carteiras do mercado de ações.

Para encontrar a carteira ótima, tradicionalmente é utilizado o modelo de otimização que visa maximizar respostas a partir de um vetor de indicadores selecionados. Esse processo tradicional é relativamente simples, bastando calcular a resposta-alvo para todos as combinações dos indicadores e escolher aquela que oferece o resultado que se adequa a dado critério. Contudo, quando se trata com modelos ligados a variáveis de incertezas, os otimizadores tradicionais falham ao forçar os usuários a pressupor sobre como as variáveis interagem no mundo real (AZADIVAR, 1999; VICTORINO, 2005).

Logo, para resolver problemas ligados a incerteza, Azadivar (1999) sugere que o processo de otimização via simulação seria o mais adequado, dado que a tarefa de busca e otimização são processadas em um espaço de dados onde são consideradas “todas” possibilidades de solução. Isso se faz, pois nesse modelo, as variáveis de risco da função objetivo não são pontuais e obedecem a uma distribuição paramétrica.

Segundo Victorino (2005), diversas técnicas de otimização-simulação são difundidas e utilizadas com sucesso no campo científico, principalmente engenharias, dos quais o método de algoritmos genéticos será utilizado para este estudo. Trata-se de um mecanismo baseado na teoria da seleção natural de Darwin.

A analogia da sobrevivência do mais forte é incorporado a esse modelo, ao considerar que uma determinada população formará um conjunto de soluções candidatas (progênes), que em seguida serão descartadas ou mantidas conforme critérios de avaliação propostos inicialmente. Essas soluções sobreviventes são então devolvidas para a população e dada maior chance de formar novos conjuntos de soluções.

No processo computacional, o algoritmo genético busca a cada simulação um valor aleatório das variáveis de risco nas suas respectivas funções de probabilidade. Esse produto da simulação forma uma solução candidata que será testada segundo os critérios de restrições estabelecidos e, se mantidas, retornará para ser usada pelo algoritmo genético para gerar novas soluções. As soluções mantidas no final da otimização formam o conjunto de soluções ótimas do modelo e, portanto, o resultado será a distribuição estatística das soluções e não apenas uma única solução ótima que se deseja maximizar ou minimizar.

Para todo esse processo será utilizado a ferramenta RiskOptimizer do software comercial @Risk, com o objetivo de encontrar a combinação de culturas que forneçam o melhor resultado financeiro e econômicos em cada região. Para tal, é necessário que uma estrutura de propriedade seja delineada para delimitar o montante dos recursos a serem

otimizados. Baseado nos dados levantados, seria inviável a formulação de uma propriedade média ou modal. Portanto, será delimitada uma fazenda hipotética em cada região, sendo que a soma dos investimentos financeiros e da área de todas as propriedades levantadas nas quatro safras formará o total de recursos disponível. Essas informações também serão base para as seguintes entradas de restrição do modelo:

1. O Custo Operacional (CO) não pode ser superior ao montante do desembolsado nas quatro safras levantadas;
2. A área da 1ª safra não pode ultrapassar a quantidade total de área física de todas as fazendas levantadas nas quatro safras;
3. A área da 2ª safra será limitada ao total efetivamente semeado no levantamento das quatro safras.

Nesse estudo, a função objetivo se volta a maximização da Receita Líquida Operacional (RLO) e Receita Líquida Total (RLT).

A função para maximizar a RLO:

$$Max_{RLO} = \sum_{j=1}^n [(RB_{jc} - CO_{jc}) * A_{jc}]$$

em que:

j = cada valor simulado;

c = cultura sob análise (soja, algodão 1ª safra, algodão 2ª safra, milho 2ª safra);

A = área total, em hectares, da cultura na região.

Para maximizar a RLT, será apenas descontado o CARP dos resultados da otimização realizadas para o RLO, assim:

$$Max_{RLT} = Max_{RLO} - CARP_{região}$$

Para construção da fronteira eficiente, seguindo a teoria do portfólio, será analisado o retorno em relação ao risco, em qual o retorno será calculado pela divisão da RLT pelo total investido (CO+CARP) e o risco, baseado no coeficiente de variação dos resultados da otimização da RLT. Para esse contexto de fronteira de eficiência, o modelo resolveu a tarefa de maximização da receita líquida com 20 tentativas para avaliar as restrições e 100 conjuntos de uso de áreas, gerando um total de 2.000 combinações de culturas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, inicialmente serão apresentados os dados que compreendem a caracterização do perfil, dimensionamento e uso de tecnologias, especialmente de algodão, nas propriedades consideradas no estudo, conforme dados obtidos no Cepea/Ampa/ImaMt (2018). Em seguida, serão descritos os dados de custo de produção de cada região, com foco inclusive na participação de cada item do custo de produção para cada cultura do estudo. Na terceira subdivisão serão discutidos a seleção das funções de distribuições paramétricas de cada variável de risco, assim como os critérios utilizados para a escolhas das distribuições.

Na quarta parte, inicia-se os resultados de risco a partir da simulação de Monte Carlo. Os dados serão apresentados por região, dando espaço a discussões de risco de cada cultura e sistemas de produção envolvidos. Nesse momento, é possível avaliar os cenários de rentabilidade de cada cultura e sistema sobre o custo operacional e também sobre o custo total, considerando investimento de estrutura e terra.

Na última parte, estão descritos os resultados da relação risco e retorno da combinação de culturas em cada região. O intuito é apresentar uma fronteira de eficiência que mostre qual a proporção de área deve ser dedicada a cada cultura, na média de cada região, para que se tenha a melhor relação risco x retorno.

4.1 Caracterização de fazendas produtoras de algodão

Os dados utilizados tomam como referência as safras 2012/13 a 2015/16, em duas regiões do estado de Mato Grosso: Agregado Norte e Centro Leste. A região Agregado Norte é referente a soma de três divisões técnicas da Ampa (2018) – norte, médio norte e noroeste do Mato Grosso – e correspondem aos municípios de Sorriso, Lucas do Rio Verde, Nova Mutum, Campo Novo do Parecis, Tangará da Serra, Diamantino, Brasnorte, Sapezal. Já a região Centro Leste representa a centro leste da Ampa e engloba os municípios de Primavera do Leste, Novo São Joaquim e Poxoréo.

Para os quatro anos-safras considerados no estudo caso, foram somados 509.309,4 hectares de área de cultivo entre algodão 1ª e 2ª safras, soja e milho 2ª safra. Somente o Agregado Norte foi responsável por 316.800,8 ha, 62% do total, enquanto a região Centro Leste representou os outros 192.508,6 ha.

Em termos de caracterização das propriedades, verifica-se que o dimensionamento e perfil dos grupos analisados são bastante distintos. Em relação as áreas da propriedade

observadas nas quatro temporadas, os valores variaram entre 2.794 ha e 69.273,8 ha, considerando a soma das áreas de reserva legal, área de preservação permanente e áreas agrícolas, tanto próprias e como arrendadas. Em termos de perfil de exploração da terra, há grupos que utilizam integralmente áreas próprias e outros com toda área arrendada. Entre as propriedades, praticamente todas cultivaram soja, milho e algodão, com exceção de uma do Agregado Norte, que se restringiu à produção de soja e algodão.

No Agregado Norte, 67% das propriedades cultivaram entre 3.554 ha e 14.000 ha (Figura 8) por temporada, sendo que a maior propriedade cultivou 54.346 ha. Na região Centro Leste, as propriedades cultivaram entre 8.363 ha e 24.200 ha, uma maior amplitude em relação às propriedades do Agregado Norte. Deste intervalo, aproximadamente 80% cultivaram até 15.508,3 ha (Figura 9).

Figura 8. Distribuição das áreas de cultivo nas propriedades do Agregado Norte de Mato Grosso.

Fonte: Cepea/Ampa/Imamt (2018)

Figura 9. Distribuição das áreas de cultivo nas propriedades do Centro Leste de Mato Grosso.

Fonte: Cepea/Ampa/Imamt (2018)

Entre as safras 2012/13 e 2015/16, a soja ocupou 56% da área agrícola nas propriedades consideradas neste estudo. O cultivo de milho 2ª safra correspondeu a 16% da área (Figura 10 a Figura 13).

O algodão, ocupou 29% da área agricultável das fazendas, considerando a soma dos cultivos de primeira e segunda safras. Em geral, a área do algodão 2ª safra superou levemente a do algodão safra cultivado nas propriedades do estudo, sendo respectivamente responsáveis por 15% e 13% do total. Contudo, quando observadas as duas regiões do estudo separadamente, as proporções dos cultivos de algodão são muito diferentes. Enquanto no Agregado Norte o algodão safra correspondeu a 3% da área cultivada nas quatro temporadas, o algodão na segunda safra ocupou 23% do total. No Centro Leste, o algodão na primeira safra representou 30% da área total cultivada e o algodão 2ª safra apenas 2%.

Figura 10. Distribuição das áreas de soja, milho e algodão nas propriedades das regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso – safra 2012/13.

Fonte: Cepea/Ampa/Imamt (2018)

Figura 12. Distribuição das áreas de soja, milho e algodão nas propriedades das regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso – safra 2014/15.

Fonte: Cepea/Ampa/Imamt (2018)

Figura 11. Distribuição das áreas de soja, milho e algodão nas propriedades das regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso – safra 2013/14.

Fonte: Cepea/Ampa/Imamt (2018)

Figura 13. Distribuição das áreas de soja, milho e algodão nas propriedades das regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso – safra 2015/16.

Fonte: Cepea/Ampa/Imamt (2018)

Essa discrepância entre os cultivos de algodão primeira e segunda safras se deve, principalmente, a restrições climáticas na região Centro Leste. Esta última região apresenta características climáticas com alta probabilidade de pluviosidade praticamente nula a partir abril e temperaturas menores no outono/inverno, o que eleva o risco do uso das áreas em 2ª safra – inclusive de milho (ROSOLEM, 2014). Em contrapartida, as outras regiões possuem condições pluviométricas que permitem semear a primeira safra, principalmente soja, de forma mais precoce, e conseguem utilizar um percentual maior de área em 2ª safra (algodão ou milho).

No agregado das quatro safras analisadas na região Centro Leste, da área agrícola total, 52% foi dedicado ao cultivo de soja, 30% com algodão safra, 2% com algodão 2ª safra e 15% de milho 2ª safra (Figura 14). Na região Agregado Norte, a proporção do uso da área agrícola para o mesmo período foi de 57% com soja, 3% com algodão safra, 23% com algodão 2ª safra e 16% com milho 2ª safra.

Os dados apontam que ao longo das safras analisadas na região Agregado Norte, o milho perdeu representatividade de área na segunda safra para o algodão. Enquanto na safra 2012/13 o milho e algodão 2ª safra representavam igualmente 22% da área de cultivo, nas temporadas seguintes o milho ocupou entre 13% e 18% de área, enquanto o algodão ficou entre 21% e 28% da área cultivada. Essas proporções podem ser analisadas individualmente por grupo e região nos dados constantes entre as Figura 10 e a Figura 13.

Figura 14. Distribuição das áreas de soja, milho e algodão nas propriedades do Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso entre as safras 2012/13 e 2015/16.

Fonte: Cepea/Ampa/Imamt (2018)

O levantamento do estudo de caso se preocupou em coletar os dados individuais das diferentes tecnologias geneticamente modificadas (OGM) utilizadas nas sementes de algodão em Mato Grosso. Entre as safras 2012/13 e 2015/16, foram registradas cinco tecnologias algodão geneticamente modificadas nas sementes, mais a variedade convencional, quais sejam:

- LibertyLink (LL) - algodão tolerante ao herbicida glufosinato de amônio;
- Widestrike (WS) - algodão tolerante ao herbicida glufosinato de amônio e resistente a insetos;
- GlyTol LibertyLink (GL) - algodão tolerante aos herbicidas glufosinato de amônio e glifosato;

- GlyTol LibertyLink TwinLink (GLT) - algodão tolerante aos herbicidas glufosinato de amônio e glifosato, e resistente a insetos;
- Bollgard II RoundUp Ready Flex (B2RF) - algodão tolerante ao herbicida glifosato e resistente a insetos.

Nota-se que de uma safra para outra houve grandes mudanças na proporção do uso de tecnologias (Figura 15). Na safra 2012/13 havia predomínio de algodão LL, que perdeu espaço na temporada seguinte para o algodão WS e foi pouco utilizado no portfólio da maioria dos cotonicultores no último dos dados do estudo.

O algodão com a tecnologia WS se mostrou a opção preferida pelos produtores em Mato Grosso. Nas últimas três safras do estudo de caso ele representou pelo menos 56% da área cultivada com algodão nas propriedades levantadas, enquanto na 2012/13 abrangia 30% do algodão cultivado nas propriedades do estudo.

Nas últimas duas safras da análise, o algodão GL cresceu em representatividade, principalmente para refúgio de outras tecnologias geneticamente modificadas. A outra opção para refúgio seria o algodão com tecnologia LL, no entanto, por apresentar tolerância a apenas um herbicida, perdeu espaço para tecnologia GL, que adicionou também tolerância ao glifosato.

Figura 15. Distribuição das áreas de algodão por tecnologia entre as safras 2012/13 e 2015/16, nas regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso.

Fonte: Cepea/Ampa/Imamt (2018)

Nota-se que as mudanças tecnológicas foram expressivas ao longo das quatro safras analisadas, dado que houve introdução de novas tecnologias a cada temporada. Segundo o quadro de liberações comerciais da CTNBio (2018), até o final do levantamento desse estudo em 2016, haviam 13 eventos de tecnologias transgênicas do algodão liberadas para comercialização no Brasil e mais outros 2 foram liberados em 2017.

Diante desse grande portfólio de tecnologias OGMs disponíveis, não foi possível encontrar no levantamento padrões significativos de uso tecnológico ao longo das quatro safras nas propriedades ou mesmo na região. Nas duas regiões, pode-se encontrar propriedades que semearam as cinco tecnologias transgênicas relatadas ou pelo menos duas.

4.2 Análise do custo de produção

Conforme a revisão bibliográfica desse estudo, itens do custo de produção foram configurados por diversos trabalhos como variáveis de risco na gestão de propriedades agropecuárias. Assim, variações climáticas (HOWDEN et al., 2007; RODRIGUEZ et al., 2011) e de mercado (MOSS, 2010; RODRIGUEZ; SADRAS, 2011) podem influenciar na tomada de decisão do produtor quanto a que insumos utilizar e também a que nível de preço negociar para formar seus custos e receita.

No entanto, na literatura vigente não foi encontrado um padrão referente à escolha das variáveis de risco no custo de produção. Sobre essas diferenças de critério, Esperancini (2006) partiu da hipótese científica que os itens que possuem maior peso no custo de produção também são fontes potenciais de risco. Enquanto isso, Simões, Cabral e Oliveira (2015) utilizou os gastos com maior correlação de Spearman com o Valor Presente Líquido do projeto para determinar as variáveis de risco. Do outro lado, Adami (2010) testou o comportamento de cada variável, como estacionariedade, correlação e co-integração, descartando aquelas que não tinham significância estatística nos modelos de teste.

Esse estudo irá considerar todos os itens do custo de produção descrito na metodologia como fonte de risco, além das variáveis de composição da receita, no caso, a produtividade e preço de venda da produção. Assim, essa seção irá se dedicar em descrever os valores e pesos dos itens do custo de produção na amostra de dados por cultura deste trabalho.

O levantamento abrangeu ao todo 20 propriedades ao longo das quatro safras – 2012/13, 2013/14, 2014/15 e 2015/16. Nessas propriedades, foram levantadas e analisadas 138 estruturas de custos de produção, das quais: 35 são de algodão safra (todas as

tecnologias), 41 estruturas de custos são de algodão 2ª safra (todas as tecnologias), 31 custos de soja e 31 outros de milho 2ª safra (também envolvendo tecnologias convencional e OGM).

Ao se analisar os custos relacionados à cultura do algodão safra (Tabela 1), chamam a atenção os fertilizantes e inseticidas como maiores gastos por hectare, representando em média, 20,7% e 15,3% do custo operacional, respectivamente. Algo pertinente sobre os inseticidas, é a grande amplitude entre os gastos das propriedades, que variou entre R\$ 261,13/ha e R\$ 1.973,23/ha, principalmente devido a ampla variabilidade tecnológica empregada.

Os defensivos agrícolas (herbicidas, inseticidas, fungicidas e adjuvantes) somaram, em média, 30% do custo operacional. A mão de obra é outro item do custo de produção, que apresenta forte representatividade no algodão safra, de 9%, assim como as operações terceirizadas, de 10%, em média (Tabela 1).

Tabela 1. Custo de produção médio, ponderado por área, do algodão safra, soja e milho 2ª safra na região Centro Leste de Mato Grosso – safras 2012/13 a 2015/16.

Itens de custo	Algodão safra		Soja		Milho 2ª safra	
	R\$/ha	% CO	R\$/ha	% CO	R\$/ha	% CO
Fertilizantes/Corretivos	1.337,99	20,7%	571,79	25,0%	603,95	29,8%
Sementes	485,62	7,5%	258,63	11,3%	442,78	21,9%
Herbicidas	517,45	8,0%	118,97	5,2%	85,21	4,2%
Inseticidas	989,72	15,3%	170,21	7,4%	60,13	3,0%
Fungicidas	263,26	4,1%	150,93	6,6%	59,68	2,9%
Outros Insumos	162,96	2,5%	48,65	2,1%	17,76	0,9%
Operações Mecânicas	388,51	6,0%	132,28	5,8%	152,91	7,6%
Operações Terceirizadas	653,81	10,1%	197,88	8,7%	161,82	8,0%
Mão de obra	576,71	8,9%	214,77	9,4%	199,37	9,8%
Impostos	224,90	3,5%	151,82	6,6%	48,56	2,4%
Arrendamento	181,36	2,8%	103,10	4,5%	47,20	2,3%
Assist. Técnica/Beneficiamento/Seguro	372,61	5,8%	60,38	2,6%	53,61	2,6%
Juros Capital Giro	303,58	4,7%	105,54	4,6%	91,99	4,5%
Custo Operacional	6.458,48	100%	2.284,95	100%	2.024,97	100%
CARP estrutura	343,40		209,32		189,79	
Custo Total	6.801,88		2.494,27		2.214,76	

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

No algodão 2ª safra, as 41 estruturas de custo de produção estão alocadas na região Agregado Norte (Tabela 2). Os desembolsos com fertilizantes e inseticidas também foram os itens que tiveram maiores representatividades no Custo Operacional, de 19,6% e 19,4%, respectivamente. A amplitude de gastos de inseticidas foi ainda maior no algodão de segunda safra, variando de R\$ 318,00/ha a R\$ 2.350,02/ha. Outro valor importante é que os defensivos

agrícolas desse cultivo de algodão constituem, em média, 35% do custo operacional. Assim como no algodão de primeira safra, a segunda safra teve 9% de representatividade da mão de obra sobre o gasto operacional, e, por outro lado, teve menos gasto com operações terceirizadas, que nesse caso somou 4,7% do operacional.

Na soja, 28 estruturas de custo de produção respondem ao Agregado Norte enquanto no Centro Leste foram 19 estruturas. No que diz respeito a análise do custo de produção da soja (Tabela 1 e Tabela 2), o item fertilizantes também é o que, em média, representou a maior parcela sobre o custo operacional, sendo de 25% no Centro Leste e 22,6% no Agregado Norte. No entanto, a variabilidade do uso de adubos e corretivos foi ampla entre os grupos, principalmente no Agregado Norte, sendo encontrados gastos entre R\$ 138,60/ha e 794,00/ha.

Tabela 2. Custo de produção médio, ponderado por área, do algodão 2ª safra, soja e milho 2ª safra na região Agregado Norte de Mato Grosso – safras 2012/13 a 2015/16.

Itens de custos	Algodão 2ª safra		Soja		Milho 2ª safra	
	R\$/ha	% CO	R\$/ha	% CO	R\$/ha	% CO
Fertilizantes/Corretivos	1.200,98	19,6%	542,56	22,6%	533,12	29,7%
Sementes	501,39	8,2%	336,78	14,1%	336,87	18,8%
Herbicidas	508,03	8,3%	153,83	6,4%	104,27	5,8%
Inseticidas	1.184,06	19,4%	240,32	10,0%	76,42	4,3%
Fungicidas	325,22	5,3%	138,22	5,8%	56,45	3,1%
Outros Insumos	149,02	2,4%	46,66	1,9%	19,23	1,1%
Operações Mecânicas	452,32	7,4%	133,01	5,6%	132,07	7,4%
Operações Terceirizadas	290,27	4,7%	125,19	5,2%	103,05	5,7%
Mão de obra	550,89	9,0%	178,18	7,4%	149,05	8,3%
Impostos	182,17	3,0%	133,75	5,6%	35,32	2,0%
Arrendamento	272,39	4,5%	171,17	7,1%	81,88	4,6%
Assist. Técnica/Beneficiamento/Seguro	146,99	2,4%	59,64	2,5%	72,46	4,0%
Juros Capital Giro	352,22	5,8%	136,69	5,7%	93,06	5,2%
Custo Operacional	6.115,98	100%	2.396,01	100%	1.793,26	100%
CARP estrutura	397,79		247,97		222,31	
Custo Total	6.513,77		2.643,98		2.015,57	

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Em segundo, segue o gasto com sementes, que na região Centro Leste constituiu 11,3% e no Agregado Norte 14,1% do custo operacional da soja. Apesar disso, os defensivos somados representaram significativa parcela do custo operacional, de 21,4% no Centro Leste e de 24,2% no Agregado, em média - neste último caso, o gasto passa a ser superior aos dos fertilizantes.

Para o milho 2ª safra, foram consideradas 13 estruturas de custo de produção na região Centro Leste e outras 18 estruturas no Agregado Norte. Os fertilizantes também foram o item do custo que mais pesou para a segunda safra de milho (Tabela 1 e Tabela 2), o qual, representou quase 30% do custo operacional, em média, em ambas as regiões. Na sequência, sementes ocuparam 21,9% do custo operacional no Centro Leste e 18,8% no Agregado Norte. Desta forma, estes dois itens representaram, em média, aproximadamente 50% do custeio com milho nas duas regiões analisadas.

Também é notável que a mão de obra é um item bastante representativo nas propriedades que produzem algodão, dado que sua participação foi entre 7,4% e 9,8% entre todas as culturas. Apesar de o cultivo de grãos não exigir intenso uso efetivo de funcionários como no algodão, o gasto aumenta em soja e milho devido ao cálculo da mão de obra ociosa³. Mesmo que a base do cálculo seja o uso efetivo para distribuir o gasto do ocioso, a necessidade do grande número de funcionários na propriedade em prol do algodão acaba pesando também no custo de grãos nestas fazendas.

Tabela 3. Valor e coeficiente de variação (CV) dos preços de venda da produção e produtividades médias, ponderado por área, do algodão safra, soja e milho 2ª safra nas regiões Agregado Norte e Centro Leste de Mato Grosso – safras 2012/13 a 2015/16.

Culturas	AGREGADO NORTE				CENTRO LESTE			
	Preço	CV	Produtividade	CV	Preço	CV	Produtividade	CV
	<i>R\$/@ pluma</i>		<i>@ pluma/ha</i>		<i>R\$/@ pluma</i>		<i>@ pluma/ha</i>	
Algodão safra	-	-	-	-	76,2	0,10	112,7	0,15
Algodão 2ª safra	71,7	0,09	97,8	0,20	-	-	-	-
	<i>R\$/sc</i>		<i>sc/ha</i>		<i>R\$/sc</i>		<i>sc/ha</i>	
Soja	62,09	0,07	49,89	0,16	63,88	0,07	53,2	0,07
Milho 2ª safra	17,86	0,18	87,64	0,30	19,04	0,25	112,2	0,25

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

O preço de comercialização da produção e a produtividade, que formam a receita total de venda para cada cultura, são caracterizados nas informações das Tabela 3. Nota-se que os preços médios ponderados recebidos em Centro Leste são maiores que no Agregado Norte, devido a questão logísticas, pois há uma relação inversa entre preço a distância da região com

³ Segundo o CEPEA/ESALQ-USP, no custo de produção de calcula o gasto total com mão de obra na propriedade. Cada cultura recebe seu custo direto de acordo com as atividades executadas, mas as horas excedentes dos funcionários são rateadas para cada cultura ponderado com base nas horas-máquinas utilizadas durante seu ciclo.

o porto, especialmente para produtos exportáveis, ou seja, quanto mais distante, menor o preço – os portos de formação de preços no Brasil ainda são os do Sul e Sudeste do país.

Mas o que ressalta na análise da receita são as produtividades, sobretudo no que se refere a dispersão dos dados amostrais. A região Agregado Norte demonstrou coeficiente de variação (CV) da produtividade maiores que os observados na região Centro Leste, o que indica que a região do Agregado Norte detém maior risco produtivo que a do Centro Leste.

4.3 Identificação da distribuição de probabilidade das variáveis de risco

A partir do Critérios de Informação de Akaike (AIC), foram identificadas e ajustadas as distribuições de probabilidade para cada item do custo de produção e da receita. Como o AIC avalia a qualidade de uma distribuição paramétrica teórica estimada pelo método de máxima verossimilhança (AKAIKE, 1974), foi possível selecionar os modelos candidatos que melhor respondiam ao comportamento real das séries levantadas. De forma mais detalhada, foram desconsideradas distribuições de probabilidade que poderiam gerar números na simulação de risco e que não fossem suportados na vida real, principalmente, devido a longas caudas e assimetrias de algumas distribuições (KOTZ; PODGÓRKI; KOZUBOWSKI, 2001). Como exemplo, pode ser citada a distribuição exponencial, que possui cauda muito longa a direita e poderia gerar valores exacerbados.

No entanto, foram testados casos particulares de distribuição estatísticas que poderiam ser aceitáveis a depender do parâmetro, como o caso da distribuição Laplace, que apesar de apresentar comportamento de caudas longas a esquerda e a direita, quando assumiu desvio padrão baixo e curtose alta, apresentou distribuição plausíveis para simulação do estudo. Ressalta-se que esta distribuição vem sendo utilizada com sucesso em série de dados financeiros, sobretudo no que tange o mercado de ações, juros e câmbio de moedas (KOTZ; PODGÓRKI; KOZUBOWSKI, 2001).

Os resultados da identificação das distribuições de probabilidade de cada variável estão descritos na Tabela 4 e na Tabela 5, seguido da caracterização dos parâmetros estatístico para cada cultura nas regiões Agregado Norte e Centro Leste. No geral, a distribuição valores extremos, também conhecida por distribuição Gamble, foi a que melhor representou a frequência de valores das variáveis de risco do custo de produção. Essa distribuição tem como características a assimetria positiva ou à direita, ou seja, a maioria dos valores daquele item do custo de produção se concentram na cauda superior e alguns casos de valores altos se distribuem a direita (JOHNSON; KOTZ; BALAKRISHNAN, 1995).

Tabela 4. Distribuição de probabilidade das variáveis de risco do custo de produção para região Agregado Norte de Mato Grosso, com base nos dados das propriedades nas safras 2012/13, 2013/14, 2014/15 e 2015/16.

Variáveis	Algodão 2ª safra		Soja		Milho 2ª safra	
	Distribuição estatística	Parâmetros	Distribuição estatística	Parâmetros	Distribuição estatística	Parâmetros
Fertilizantes/Corretivos	Normal	$\mu=1238,9$; $\delta=246,1$	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=613,27$; $\beta=114,9$	Normal	$\mu=537,04$; $\delta=190,6$
Sementes	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=448,7$; $\beta=223,19$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=269,9$; $\beta=82,503$	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=400,37$; $\beta=82,62$
Herbicidas	Weibull	$s=2,07$; $\beta=456,59$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=118,17$; $\beta=52,02$	Normal	$\mu=93,94$; $\delta=29,758$
Inseticidas	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=864,59$; $\beta=384,9$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=176,99$; $\beta=98,61$	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=94,801$; $\beta=36,4$
Fungicidas	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=261,4$; $\beta=102,88$	Normal	$\mu=141,7$; $\delta=48,77$	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=68,04$; $\beta=17,048$
Outros Insumos	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=145,7$; $\beta=102,96$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=33,4$; $\beta=28,059$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=10,56$; $\beta=10,776$
Op. Mec.	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=500,3$; $\beta=139,57$	Laplace	$\mu=130,7$; $\delta=44,626$	Normal	$\mu=130,3$; $\delta=66,67$
Op. Terceirizadas	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=281,9$; $\beta=197,23$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=78,93$; $\beta=83,18$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=92,14$; $\beta=86,62$
Mão de obra	Normal	$\mu=385,55$; $\delta=205,3$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=122,91$; $\beta=68,88$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=87,06$; $\beta=65,923$
Impostos	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=202,85$; $\beta=33,6$	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=156,18$; $\beta=30,9$	Laplace	$\mu=37,32$; $\delta=10,318$
Arrendamento	Normal	$\mu=216,95$; $\delta=133,4$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=132,2$; $\beta=118,88$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=46,807$; $\beta=49,36$
Assist. Tec./Benef./Seguro	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=133,7$; $\beta=71,81$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=52,4$; $\beta=12,063$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=52,7$; $\beta=36,246$
Juros Cap. Giro	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=293,7$; $\beta=89,692$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=105,3$; $\beta=36,84$	Normal	$\mu=89,207$; $\delta=25,45$
Custo Operacional	output		output		output	
CARP estrutura	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=489,59$; $\beta=159,3$	Laplace	$\mu=193,9$; $\delta=121,5$	Logística	$\alpha=188,4$; $\beta=56,675$
Custo Total	output		output		output	
Preço	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=77,884$; $\beta=6,85$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=60,59$; $\beta=6,161$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=18,182$; $\beta=4,919$
Produtividade	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=106,14$; $\beta=16,35$	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=54,38$; $\beta=6,707$	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=111,35$; $\beta=22,19$
Receita Bruta	output		output		output	
Receita Líquida Operacional	output		output		output	
Receita Líquida Total	output		output		output	

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Legenda: α = localização; β = escala; μ = média; δ = desvio padrão; s = forma.

Tabela 5. Distribuição de probabilidade das variáveis de risco do custo de produção para região Centro Leste de Mato Grosso, com base nos dados das propriedades nas safras 2012/13, 2013/14, 2014/15 e 2015/16.

Variáveis	Algodão safra		Soja		Milho 2ª safra	
	Distribuição estatística	Parâmetros	Distribuição estatística	Parâmetros	Distribuição estatística	Parâmetros
Fertilizantes/Corretivos	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=1421,9$; $\beta=143,19$	Normal	$\mu=583,56$; $\delta=93,53$	Normal	$\mu=718,85$; $\delta=298,5$
Sementes	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=350,34$; $\beta=173,9$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=231,08$; $\beta=84,176$	Normal	$\mu=433,8$; $\delta=96,05$
Herbicidas	Normal	$\mu=527,51$; $\delta=173,59$	Logística	$\alpha=132,03$; $\beta=18,029$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=62,22$; $\beta=26,23$
Inseticidas	Normal	$\mu=1075,5$; $\delta=370,48$	Normal	$\mu=164,716$; $\delta=62,86$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=48,27$; $\beta=37,706$
Fungicidas	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=289,78$; $\beta=56,46$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=143,99$; $\beta=39,37$	Logística	$\alpha=54,007$; $\beta=12,7$
Outros Insumos	Normal	$\mu=167,799$; $\delta=73,41$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=41,361$; $\beta=19,74$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=9,919$; $\beta=6,135$
Op. Mec.	Normal	$\mu=399,59$; $\delta=216,36$	Logística	$\alpha=173,9$; $\beta=35,225$	Normal	$\mu=170,99$; $\delta=98,23$
Op. Terceirizadas	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=429,48$; $\beta=333,07$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=78,97$; $\beta=72,296$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=94,17$; $\beta=68,067$
Mão de obra	Normal	$\mu=550,12$; $\delta=326,11$	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=325,04$; $\beta=98,4$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=169,5$; $\beta=143,96$
Impostos	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=238,8$; $\beta=33,89$	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=158,16$; $\beta=18,79$	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=56,408$; $\beta=10,99$
Arrendamento	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=70,93$; $\beta=144,04$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=47,42$; $\beta=89,509$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=17,5$; $\beta=35,086$
Assist. Tec./Benef./Seguro	Normal	$\mu=404,08$; $\delta=218,97$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=56,142$; $\beta=20,233$	Logística	$\alpha=59,85$; $\beta=12,88$
Juros Cap. Giro	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=263,3$; $\beta=71,51$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=97,16$; $\beta=27,654$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=84,45$; $\beta=37,623$
Custo Operacional	output		output		output	
CARP estrutura	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=416,27$; $\beta=125,1$	Logística	$\alpha=270,67$; $\beta=56,2$	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=284,2$; $\beta=71,3$
Custo Total	output		output		output	
Preço	Valor Extremo Mínimo	$\alpha=78,81$; $\beta=6,802$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=64,678$; $\beta=6,341$	Valor Extremo (Gumbel)	$\alpha=22,442$; $\beta=4,332$
Produtividade	Normal	$\mu=110,20$; $\delta=16,66$	Normal	$\mu=54,11$; $\delta=3,61$	Logística	$\alpha=114,34$; $\beta=14,41$
Receita Bruta	output		output		output	
Receita Líquida Operacional	output		output		output	
Receita Líquida Total	output		output		output	

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Legenda: α = localização; β = escala; μ = média; δ = desvio padrão.

Outras duas distribuições que foram identificadas com significância para o estudo, foram a normal e a valor extremo mínimo. Essa última mantém uma relação com a

distribuição valor extremo, dado que a única diferença da distribuição valor extremo mínimo se deve à sua assimetria negativa, ou à esquerda.

Ao todo, foram identificadas seis diferentes distribuições de probabilidade, para os 16 diferentes itens de custos e receitas das duas regiões, quais sejam: distribuição valor extremo (ou Gumbel), normal, valor extremo mínimo, logística, Laplace e weibull. Ressalta-se, que para as variáveis da receita – produtividade e preço – as distribuições tenderam para a normal.

4.4 Análise de risco

Os resultados apresentados nas três subseções posteriores, referem-se as medidas estatísticas geradas a partir da simulação de Monte Carlo, com 10.000 iterações. Para fins do estudo, os dados foram separados entre as regiões Agregado Norte e Centro Leste e, então, comparados os resultados de cada cultura e os respectivos sistemas de produção.

4.4.1 Análise de risco para as culturas da região Agregado Norte

Os resultados mostram que o cultivo de soja é o de menor risco, com probabilidade de receita líquida negativa ($Pr < 0$) sobre o custo operacional de 4,5% (Tabela 6). Contudo, é a única cultura analisada na região cultivada no verão, período em que apresenta menor risco climático quanto à restrição hídrica e temperaturas baixas (ROSOLEM, 2014).

Para a segunda safra, o algodão apresenta menor risco quando comparado ao milho, dado que a probabilidade de renda negativa é superior no cereal. É possível também observar o menor risco da cotonicultura sobre a medida do coeficiente de variação, que foi bastante inferior ao calculado no milho, o que significa menor dispersão dos valores da receita líquida para o algodão. Vale observar que os custos e receitas totais geradas por unidade de área é bem maior no algodão do que no milho. Assim, ao avaliar apenas os valores monetários dos percentis 5% e 95%, seus valores se destacam (Tabela 6). Além disso, o milho 2ª safra foi a única cultura com registro receita líquida total média negativa, não sendo capaz de pagar o custo total na maioria dos casos simulados – a probabilidade de receita líquida negativa supera os 55%.

Outro ponto de destaque, é como o CARP da estrutura (máquinas, implementos e benfeitorias) atua sobre o risco das culturas de grãos. Na soja, pode-se observar que o risco passou de 4,5% na Receita Líquida Operacional, para 10,1% quando adicionado o custo de investimento estrutura (Receita Líquida Total) (Tabela 2). Esse acréscimo se deve ao alto

valor do imobilizado necessário para que uma fazenda com cotonicultura e grãos produza, em média, uma segunda safra em 80% da sua área. Enquanto o CARP de soja e milho, em média, representou 10% do custo total, no algodão esse peso foi de 6% (Tabela 2).

Tabela 6. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas de soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra para região Agregado Norte de Mato Grosso – em R\$/ha.

Variáveis	Receita Líquida Operacional			Receita Líquida Total		
	Soja	Algodão 2ª safra	Milho 2ª safra	Soja	Algodão 2ª safra	Milho 2ª safra
Média	964,12	1.039,37	180,93	754,74	615,28	-16,32
Moda	791,55	1.444,45	-60,31	584,42	692,45	-35,04
Desvio Padrão	601,77	1.544,42	638,36	609,18	1.605,56	608,65
Coef. Variação	0,62	1,49	3,53	0,81	2,61	-37,30
Assimetria	0,34	-0,53	0,72	0,26	-0,48	0,64
Curtose	3,43	3,34	4,46	3,35	3,27	4,49
5% Perc	791,55	1.444,45	-60,31	-201,02	-2.267,38	-899,87
95% Perc	1.996,77	3.311,14	1.328,77	1.782,75	3.001,20	1.066,18
<i>Pr < 0</i>	4,5%	32,1%	41,9%	10,1%	23,7%	55,3%

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Legenda: *Pr*= probabilidade.

Tabela 7. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas dos sistemas soja, soja + algodão 2ª safra e soja + milho 2ª safra para região Agregado Norte de Mato Grosso – em R\$/ha.

Variáveis	Receita Líquida Operacional			Receita Líquida Total		
	Soja	S + Alg2	S + M2	Soja	S + Alg2	S + M2
Média	964,12	2.003,49	1.145,05	754,74	1.370,01	738,42
Moda	791,55	2.224,45	889,11	584,42	1.919,68	654,63
Desvio Padrão	601,77	1.654,48	879,40	609,18	1.713,83	860,92
Coef. Variação	0,62	0,83	0,77	0,81	1,25	1,17
Assimetria	0,34	-0,40	0,43	0,26	-0,37	0,36
Curtose	3,43	3,25	3,66	3,35	3,21	3,60
5% Perc	791,55	2.224,45	889,11	-201,02	-1.676,40	-598,59
95% Perc	1.996,77	4.523,30	2.680,12	1.782,75	3.995,60	2.231,11
<i>Pr < 0</i>	4,5%	11,5%	9,3%	10,1%	20,3%	18,7%

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Legenda: S= soja; Alg2= algodão 2ª safra; M2= milho 2ª safra; *Pr*= probabilidade.

Os resultados dos sistemas mostram que a dupla safra apresenta o risco maior de produção em comparação com a soja solteira nas propriedades do Agregado Norte (Tabela 7). O milho 2ª safra piora em média a receita líquida total na sucessão com a soja, ao passo que o algodão 2ª contribui para aumento da renda no sistema de produção. Enquanto o cultivo somente de soja registra receita líquida total de R\$ 754,74/ha, em média, o sistema com soja e algodão 2ª safra ficou em R\$ 1.370,01/ha. Já a sucessão de soja e milho 2ª safra gera Receita Líquida Total média de R\$ 738,42/ha. Portanto, ainda que risco seja evidentemente maior nos

sistemas com cultivo de segunda safra, o algodão demonstrou ganhos relativos ao acréscimo de risco, dado que sua inserção no sistema de produção favoreceu a adição de 82% sobre a renda média total em relação a da soja solteira, enquanto o milho na segunda safra reduziu em 2,2% os ganhos líquidos da soja. Observa-se que o cultivo de soja reduz o risco da segunda safra.

Por outro lado, os resultados dos sistemas de produção com dupla safra mantiveram ampla dispersão dos dados. Dessa forma, em caso de cenário pessimista de custos e receitas, os cultivos de algodão e milho em sucessão a soja tendem a registrar renda líquida bem abaixo dos patamares da oleaginosa solteira (Figura 16 e Figura 17). O mesmo raciocínio ocorre pela outra mão, ou seja, em cenários favoráveis, os sistemas com segunda safra, registraram patamares mais altos que os observados na soja. Isto indica, claramente, os maiores riscos das culturas de algodão e milho, já apontados pelo coeficiente de variação e também pelas probabilidades de receitas líquidas negativas.

Na Figura 16 e na Figura 17, estão apresentadas as distribuições de frequência das 10.000 simulações de receitas líquidas dos sistemas do Agregado Norte. Verifica-se pelos histogramas uma assimetria negativa, que diminuiu à medida que são adicionados os CARP's (vide também a Tabela 7). Portanto, a tendência é que predominem valores de receita abaixo da moda para todos os casos. Como a amplitude dos dados aumentam entre a receita líquida operacional e a receita líquida total, é notável que a curtose das distribuições também tenha diminuído, formando um leve achatamento das curvas de renda líquida. Mesmo com a mudança no achatamento das distribuições, as curvas mantiveram o coeficiente de curtose próximo de 3, ou seja, uma distribuição um pouco mais afunilada e de caudas mais pesadas que uma normal (curtose=3). Apesar de os resultados das rendas líquidas guardarem alguma similaridade com a curva normal, o teste Akaike indicou melhor ajuste com a distribuição gamma para as receitas líquidas da soja, distribuição weibull para as rendas do sistema soja + algodão 2ª safra e também lognormal para a soja + milho 2ª safra.

Figura 16. Distribuição de frequência da Receita Líquida Operacional (RLO) dos sistemas soja, soja + algodão 2ª safra e soja + milho 2ª safra para região Agregado Norte – em R\$/ha.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Figura 17. Distribuição de frequência da Receita Líquida Total (RLT) dos sistemas soja, soja + algodão 2ª safra e soja + milho 2ª safra para região Agregado Norte – em R\$/ha.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

4.4.2 Análise de risco para as culturas da região Centro Leste

Para a região Centro Leste, os resultados estatísticos também sinalizaram menor risco envolvido no cultivo de soja no verão e com grande diferença sobre os resultados do algodão safra (Tabela 8). Enquanto o cultivo de soja, individualmente, apresentou probabilidade de receita líquida negativa ($Pr < 0$) sobre o custo operacional de apenas 0,6%, para o algodão safra a probabilidade foi de 17,9%. Contudo, vale considerar que o cultivo do algodão tende a representar maior renda por unidade de área, sem considerar as restrições de entrada e saída em seu cultivo. A receita líquida operacional média do algodão foi 30% superior à registrada na soja, mantendo essa proporção também na renda sobre o custo total.

Outro ponto interessante para se comparar, é a dispersão de dados das duas culturas de verão. O coeficiente da variação da soja mostra que os resultados de receita líquida tendem a se concentrar próximo da média, enquanto os do algodão são mais dispersos, o que implica possibilidades de ganhos e/ou de perdas expressivas e claramente bem superiores ao da soja (Tabela 8).

Quanto a segunda safra, a chance de receita líquida negativa do milho ficou em 25,6% sobre o custo operacional e chegou a 35,5% no caso do custo total. Contudo, para região Centro Leste, a produção de milho 2ª safra, em média, gera receita total superior ao custo total.

Tabela 8. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas de algodão safra, soja e milho 2ª safra para região Centro Leste – em R\$/ha.

Variáveis	Receita Líquida Operacional			Receita Líquida Total		
	Algodão safra	Soja	Milho 2ª safra	Algodão safra	Soja	Milho 2ª safra
Média	1.652,44	1.273,67	673,80	1.291,20	1.000,34	430,77
Moda	1.186,69	1.007,74	485,44	868,52	932,20	335,47
Desvio Padrão	1.788,63	576,80	1.047,39	1.806,72	606,92	1.083,63
Coef. Variação	1,08	0,45	1,55	1,40	0,61	2,52
Assimetria	0,00	0,52	0,53	-0,01	0,43	0,47
Curtose	2,95	3,87	4,40	2,95	3,69	4,22
5% Perc	-1.293,05	415,11	-930,56	-1.690,51	81,78	-1.232,68
95% Perc	4.613,33	2.278,52	2.482,61	4.276,13	2.050,87	2.287,31
$Pr < 0$	17,9%	0,6%	25,6%	24,0%	3,5%	35,5%

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Legenda: Pr = probabilidade.

Tabela 9. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas dos sistemas algodão safra, soja e soja + milho 2ª safra para região Centro Leste – em R\$/ha.

Variáveis	Receita Líquida Operacional			Receita Líquida Total		
	Algodão safra	Soja	S + M2	Algodão safra	Soja	S + M2
Média	1.652,44	1.273,67	1.947,47	1.291,20	1.000,34	1.431,11
Moda	1.186,69	1.007,74	1.728,18	868,52	932,20	1.797,43
Desvio Padrão	1.788,63	576,80	1.200,88	1.806,72	606,92	1.246,00
Coef. Variação	1,08	0,45	0,62	1,40	0,61	0,87
Assimetria	0,00	0,52	0,38	-0,01	0,43	0,34
Curtose	2,95	3,87	3,76	2,95	3,69	3,64
5% Perc	-1.293,05	415,11	88,68	-1.690,51	81,78	-496,79
95% Perc	4.613,33	2.278,52	4.003,74	4.276,13	2.050,87	3.544,46
<i>Pr < 0</i>	17,9%	0,6%	5,0%	24,0%	3,5%	11,5%

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Legenda: S= soja; M2= milho 2ª safra; *Pr*= probabilidade.

Para os sistemas, fica evidente que o incremento do milho 2ª safra em sucessão a soja apresenta condições de risco da produção mais que altas do que a oleaginosa solteira. A probabilidade de receita líquida negativa sobre o operacional sobe de 0,6% na soja solteira para 5% com a introdução do milho na segunda safra (Tabela 9). O lado positivo é que o risco do cultivo do milho no sistema é menor que seu cultivo isoladamente, mesmo que em período de segunda safra. O sistema soja + milho gera ganhos médios 53% maior sobre a receita líquida operacional, comparativamente à soja isoladamente.

Também é interessante observar que a produção de soja + milho 2ª safra, em sistema, se mostra menos arriscada que a de algodão safra, a qual não permite uma segunda safra. Ainda pode ser observado nas condições de simulação, que o sistema soja sucedida por milho 2ª safra, em média, registrou maiores receitas líquidas que a cotonicultura.

As dispersões dos dados demonstram que em cenários otimistas da simulação, o sistema soja e milho 2ª safra apresentou receitas líquidas superiores a soja solteira. Mas em cenários pessimistas, a renda sobre o custo total por hectare da soja solteira manteve os níveis próximos de zero, enquanto na sucessão com o milho os valores estiveram abaixo dos R\$ 500 negativos. Essa dispersão dos dados se deve a grande amplitude dos preços e da produtividade do milho nas safras sob análise (vide Tabela 3).

Em relação às distribuições dos valores de receita líquida simulados, uma forte simetria foi evidenciada para os resultados do algodão safra, em que o coeficiente de assimetria se aproxima de zero, apenas com maior frequência de dados na cauda esquerda da receita líquida total. Já para os outros sistemas de cultivo, uma leve assimetria positiva foi

observada para as rendas líquidas, sendo maior no caso da soja solteira (Tabela 9, Figura 18 e Figura 19).

Figura 18. Distribuição de frequência da Receita Líquida Operacional (RLO) dos sistemas algodão safra, soja e soja + milho 2ª safra para região Centro Leste – em R\$/ha.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Figura 19. Distribuição de frequência da Receita Líquida Total (RLT) dos sistemas algodão safra, soja e soja + milho 2ª safra para região Centro Leste – em R\$/ha.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Observa-se que a amplitude de resultados de receita líquida é superior no algodão safra do que nos outros sistemas observados, mas o indicador de curtose aponta para distribuições com achatamento da curva próxima a de uma normal (curtose=3), sendo mais achatada no algodão safra e mais pontiaguda e com caudas mais pesadas no sistema soja + milho 2ª safra.

Os parâmetros estatísticos das curvas de distribuição das receitas líquidas dos sistemas se aproximam de uma distribuição normal, sendo que pelo teste Akaike, o melhor ajuste para a distribuição do algodão safra é uma normal, enquanto para a soja uma lognormal e para o sistema soja e milho 2ª safra, uma distribuição gamma.

4.4.3 Resultados gerais

De modo geral, a região Centro Leste apresenta menor risco para os sistemas de produção quando comparados com as análises do Agregado Norte, sendo que para ambas regiões a produção de soja solteira indica menor probabilidade de renda negativa para o produtor (Tabela 10).

Outro padrão observado, para todos os casos, é que os sistemas de produção com segunda safra se apresentam mais arriscados que a soja solteira. A adição do algodão na segunda safra registra risco em proporção superior ao caso da sucessão com o milho 2ª safra. Além disso, a introdução do milho no sistema no Agregado Norte reduz a renda sobre o custo total da produção, uma vez que há probabilidade de 55,3% de ter receita líquida total negativa.

Os sistemas com algodão apresentam melhor relação entre renda e risco. Nessa análise, apesar de apresentar risco mais elevados que os sistemas com grãos, registraram receita líquida por unidade de área superior a soja sozinha ou mesmo com soja e milho 2ª safra, principalmente em razão da alta receita bruta da pluma em cenários otimistas. Apenas no Centro Leste a soja + milho 2ª safra registrou renda média superior ao cultivo do algodão safra.

Verifica-se, em geral, que o custo de reposição do patrimônio – o CARP – tem um grande peso nos custos de grãos, nas propriedades analisadas. Dessa forma, é observado que os riscos dos sistemas de produção aumentam consideravelmente para manter o investimento dos ativos fixos da propriedade.

Tabela 10. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas Operacionais dos sistemas algodão safra, soja, soja + algodão 2ª safra e soja + milho 2ª safra para as regiões Agregado Norte e Centro Leste – em R\$/ha.

Variáveis	Agregado Norte			Centro Leste		
	Soja	S + Alg2	S + M2	Algodão safra	Soja	S + M2
Média	964,12	2.003,49	1.145,05	1.652,44	1.273,67	1.947,47
Moda	791,55	2.224,45	889,11	1.186,69	1.007,74	1.728,18
Desvio Padrão	601,77	1.654,48	879,40	1.788,63	576,80	1.200,88
Coef. Variação	0,62	0,83	0,77	1,08	0,45	0,62
Assimetria	0,34	-0,40	0,43	0,00	0,52	0,38
Curtose	3,43	3,25	3,66	2,95	3,87	3,76
5% Perc.	791,55	2.224,45	889,11	-1.293,05	415,11	88,68
95% Perc.	1.996,77	4.523,30	2.680,12	4.613,33	2.278,52	4.003,74
$Pr < 0$	4,5%	11,5%	9,3%	17,9%	0,6%	5,0%

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Legenda: S= soja; Alg2= algodão 2ª safra, M2= milho 2ª safra; Pr = probabilidade.

Tabela 11. Resultados estatísticos das Receitas Líquidas Totais dos sistemas algodão safra, soja, soja + algodão 2ª safra e soja + milho 2ª safra para as regiões Agregado Norte e Centro Leste – em R\$/ha.

Variáveis	Agregado Norte			Centro Leste		
	Soja	S + Alg2	S + M2	Algodão safra	Soja	S + M2
Média	754,74	1.370,01	738,42	1.291,20	1.000,34	1.431,11
Moda	584,42	1.919,68	654,63	868,52	932,20	1.797,43
Desvio Padrão	609,18	1.713,83	860,92	1.806,72	606,92	1.246,00
Coef. Variação	0,81	1,25	1,17	1,40	0,61	0,87
Assimetria	0,26	-0,37	0,36	-0,01	0,43	0,34
Curtose	3,35	3,21	3,60	2,95	3,69	3,64
5% Perc.	-201,02	-1.676,40	-598,59	-1.690,51	81,78	-496,79
95% Perc.	1.782,75	3.995,60	2.231,11	4.276,13	2.050,87	3.544,46
$Pr < 0$	10,1%	20,3%	18,7%	24,0%	3,5%	11,5%

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Legenda: S= soja; Alg2= algodão 2ª safra, M2= milho 2ª safra; Pr = probabilidade.

Consta-se, ainda na análise de sensibilidade das receitas líquidas – geradas no @Risk pelo método de regressão –, que entre as variáveis do custo de produção, as que compõem a receita (preço e produtividade) são as fontes mais significantes na determinação dos resultados de renda e, consequentemente, do risco de produção. Sobretudo, se constata que as fontes de receita dos cultivos de segunda safra afetam com maior proporção o risco de produção dos sistemas. Mais detalhes sobre análise de sensibilidade podem ser consultados no anexo. Assim, em termos de modelo de gestão de risco agropecuário, não apenas a seleção de

culturas deve ser atendida para suavizar essas incertezas eminentes da atividade, mas também buscar ferramentas que auxiliem na proteção da instabilidade de receita.

Ao final, pode-se dizer que as probabilidades e margens calculados sobre o custo operacional e CARP da estrutura (maquinários e benfeitorias) são consideradas aceitáveis e atrativas para o negócio agropecuário. Isso indica que há razão na gestão econômica, financeira e de risco, ao escolher produzir soja, milho e algodão nessas regiões do Mato Grosso.

4.5 Análise de portfólio

Tomando como base a metodologia descrita no modelo de maximização da RLT, a fronteira de eficiência foi construída com base em 20 tentativas para avaliar as restrições e 100 iterações, gerando 2.000 combinações de portfólio de cultura. A definição da fronteira leva em consideração a relação retorno e risco, do qual o último é determinado pelo coeficiente de variação (CV) das RLT's calculadas e o retorno é a taxa percentual obtida por cada real investido, e não o montante financeiro. As restrições do modelo e os resultados dos portfólios estão descritos nas subseções a seguir.

4.5.1 Análise para a região Agregado Norte

Os dados para construir as restrições do modelo na região Agregado Norte estão detalhadas na Tabela 12. Para fins de pesquisa, os valores foram arredondados, assim, as restrições do modelo são:

1. O Custo Operacional (CO) terá o limite de recurso de R\$ 1 bilhão;
2. A 1ª safra não pode ultrapassar a área de 175.000,0 hectares, que é o total de área cultivada na primeira no total das fazendas, nos anos analisados;
3. A área da 2ª safra será limitada 140.000,0 hectares, sendo que o algodão 2ª safra não pode ultrapassar os 75.000,0 hectares.

Tabela 12. Área (hectares) e custo de produção (Reais) das culturas do Agregado Norte, com base nas informações originais coletadas entre as safras 2012/13 e 2015/16.

Variáveis	Algodão safra	Soja	Algodão 2ª safra	Milho 2ª safra	Total
Custo Operacional	-	418.265.735,37	444.325.833,8	109.523.685,07	972.115.254,3
CARP	-	43.287.754,31	28.899.764,4	13.577.748,66	85.765.267,3
Participação CO	-	43,0%	45,7%	11,3%	100%
Participação CT	-	43,6%	44,7%	11,6%	100%
Área Cultivada	-	174.567,5	72.650,0	61.075,3	308.292,8
Participação da área	-	56,6%	23,6%	19,8%	100,0%
Área 1ª safra	174.567,47				174.567,5
Participação 1ª safra	-	100%			100%
Área 2ª safra			133.725,4		133.725,4
Participação 2ª safra			54,3%	45,7%	100%

Fonte: Cepea/Ampa/Imamt (2018)

Das 2.000 combinações geradas pelo modelo de otimização via simulação, apenas 75 desses conjuntos de áreas representam a construção da fronteira de eficiência, sendo que o ponto em vermelho/amarelo na Figura 20 retrata o cálculo para a área original do levantamento do estudo de caso. A nomenclatura “Fazenda Original” será usada para representar o uso da área original do levantamento e “Fazendas simuladas”, para retratar os usos alternativos simulados pelo modelo de otimização.

Observa-se que o ponto de inflexão da curva de eficiência ocorre no conjunto de área especificado pelo risco (CV) de 0,936 e retorno sobre o custo total de 16,8%. Isso significa, que a partir dessa inflexão da curva, no sentido crescente, há conjuntos de áreas que apresentam maior retorno e risco. Contudo, no sentido decrescente do ponto de inflexão, são encontradas combinações que elevam o risco ao passo que apresentam retornos menores. Segundo a teoria de portfólio, a curva crescente acima do ponto de inflexão é que delimita as melhores escolhas para relação entre retorno e risco, sendo concedida a decisão sobre o risco assumido ao gestor da propriedade.

O ponto da relação retorno-risco calculado para fazenda original se posiciona com risco 0,939 e retorno de 15,8%, ou seja, se localiza abaixo da delimitação da curva teórica que maximiza os rendimentos do capital investido, especialmente com retorno inferior ao apontado pelo portfólio da fronteira. À vista disso, pode-se encontrar na fronteira eficiente um conjunto de área com igual risco da fazenda original, porém com retorno superior ou, até mesmo, uma combinação com menor risco e maior rentabilidade.

Figura 20. Fronteira eficiente que maximiza a relação retorno e risco para combinação de soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra na região Agregado Norte.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Obs: O ponto “Fazenda Original” representa os resultados do uso de área da fazenda levantada no estudo.

Tabela 13. Risco, retorno e combinação do uso da área, em mil hectares, com soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra para as fazendas da fronteira eficiente e a original – em mil hectares.

	Fazenda Original	Fazendas simuladas											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Risco (%)	93,9%	170,8%	129,5%	127,9%	123%	101,8%	97,0%	97,5%	97,6%	96,3%	93,6%	94,0%	94,0%
Retorno (%)	15,8%	12,6%	19,7%	19,4%	19,1%	18,0%	17,1%	16,4%	17,9%	17,7%	16,8%	17,0%	16,9%
Soja	174,6	132,2	175	175	175	173	175	175	175	175	175	175	175
Algodão 2ª safra	72,7	5,0	0,0	0,0	2,2	25,6	31,7	37,7	75,0	74,2	68,3	73,6	75,0
Milho 2ª safra	61,1	4,1	0,4	5,8	11,7	18,9	65,0	102,3	0,0	12,0	71,7	55,9	65,0

Fonte: Dados da Pesquisa (2018)

Obs: “Fazenda Original” representa o uso de original da área levantada no estudo e, “Fazenda simuladas”, os usos alternativos simulados pelo modelo de otimização.

Para melhor explorar os resultados do modelo de otimização, doze fazendas com combinação de uso da área diferentes foram selecionadas na curva da fronteira eficiente (Tabela 13). Essas combinações de áreas e suas respectivas condições de risco e retorno podem ser melhor discutidas com auxílio da Figura 21 e da Figura 22.

A combinação de área da fazenda original é delineada por 174.567,5 ha de soja, 72.650 ha de algodão 2ª safra e mais 61.075,3 ha de milho 2ª safra. Já o desenho do portfólio do ponto de inflexão é delimitado por 175.000 ha de soja, 68.289,3 ha de algodão 2ª safra e 71.710,7 ha de milho 2ª safra – fazenda simulada 10 na Tabela 13. Comparativamente, o ponto de inflexão da curva teórica apresenta risco menor e rentabilidade maior que a fazenda

original, sendo que a diferença se concentra nas áreas dos cultivos da segunda safra. Desse ponto de vista, a fazenda original precisaria aumentar a área com milho e reduzir a de algodão na segunda safra visando diminuir o risco e melhorar o retorno – a taxa obtida por cada real investido. O cultivo desta área exigiria um custeio de R\$ 907.030.032,18 para arcar com os custos operacionais, valor inferior ao da fazenda original.

Os dados da fronteira eficiente demonstram que a utilização de soja no total disponível no verão (175.000 ha) reduz o risco e aumenta o retorno dos recursos investidos, principalmente para melhor uso dos recursos aplicados em estrutura, ou seja, otimizar o CARP. Outro ponto, é que o incremento de cultivos a 2ª safra reduz consideravelmente o risco de produção em troca de leve atenuação do retorno (vide fazenda 4 em diante da Figura 21).

Figura 21. Combinação do uso da área, risco, retorno sobre o custo total e probabilidade de renda negativa ($Pr RLT < 0$) de soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra, para as fazendas da fronteira eficiente e a original.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Figura 22. Combinação do uso da área, receita líquida total (RLT) e retorno sobre o custo total de soja, algodão 2ª safra e milho 2ª safra, para as fazendas da fronteira eficiente e a original.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Ainda que adicionar segunda safra a fazenda implique em retornos inferiores ao registrado com apenas a safra de verão, por outro lado, isso significa ganhos maiores de receita líquida, como pode ser observado na Figura 22. Em outras palavras, o maior uso da área resulta em ganhos de receitas totais. No entanto, o algodão 2ª safra proporciona essa vantagem em maior proporção que o milho 2ª safra.

Sendo assim, acrescentar o algodão ao máximo de área possível, desde que se tenha a estrutura pronta e não corra limitações de recursos, garante os maiores montantes de renda, podendo se completar o restante dos 140 mil hectares da segunda safra com milho, para aumentar um pouco a renda e ainda atenuar o risco de fazenda – comparar fazenda 9 com a fazenda 12.

Lembrando que para condição máxima de receita apresentada na fronteira, deve ser necessário a captação de R\$ 937.113.274,05 para ser possível o cultivo integral dos 175 mil hectares da safra de verão com soja, e dos 75 mil hectares de algodão e 65 mil hectares de milho na segunda safra.

4.5.2 Análise para a região Centro Leste

Na Tabela 14 estão referenciados os dados que foram base para construção das restrições do modelo de otimização para a região Centro Leste, sendo que as principais são:

1. O Custo Operacional (CO) não pode ultrapassar o montante de R\$ 680 milhões;
2. A 1ª safra se limita ao máximo de 155.000,0 hectares, sendo que deste total, o algodão não deve ultrapassar os 60.000,0 hectares;
3. A área da 2ª safra pode chegar a no máximo 31.000 hectares de área plantada.

Tabela 14. Área (hectares) e custo de produção (Reais) das culturas do Centro Leste, com base nas informações originais coletadas entre as safras 2012/13 e 2015/16.

Culturas	Algodão safra	Soja	Algodão 2ª safra	Milho 2ª safra	Total
Custo Operacional	379.163.556,91	212.961.702,04	-	58.678.152,37	650.803.411,3
CARP	20.160.289,71	19.509.078,99	-	32.057,92	39.701.426,6
Participação CO	58,3%	32,7%	-	9,0%	100%
Participação CT	57,8%	33,7%	-	8,5%	100%
Área Cultivada	58.707,9	93.201,8	-	28.977,3	180.887,0
Participação da área	32,5%	51,5%	-	16,0%	100,0%
Área 1ª safra	151.909,67				151.909,7
Participação 1ª safra	38,6%	61,4%			100%
Área 2ª safra			28.977,3		28.977,3
Participação 2ª safra			-	100%	100%

Fonte: Cepea/Ampa/Imamt (2018)

De acordo com as combinações de área geradas pelo modelo de otimização, apenas 89 dos 2.000 conjuntos áreas pertencem à fronteira eficiente. A curva teórica da otimização pode ser observada na Figura 23, em que o ponto em vermelho/amarelo representa a relação risco e retorno da combinação de área original levantada no estudo. Para fins do estudo, a nomenclatura “Fazenda Original” será empregada para representar o uso da área original do levantamento e “Fazenda simuladas” para os usos alternativos simulados pelo modelo de otimização.

Na curva da fronteira eficiente, o ponto de inflexão se encontra na fazenda que apresenta risco (CV) de 0,497 e retorno sobre o custo total de 39,4%. Assim, no sentido crescente dessa inflexão há os conjuntos de áreas que apresentam maior retorno e risco mais elevado, e no sentido decrescente, fazendas com maior risco, mas menor retorno que a inflexão. Portanto, segundo o descrito na teoria de portfólio, a curva de interesse com as melhores relações entre retorno e riscos se localizam no sentido crescente ao ponto de inflexão.

O ponto com a relação risco e retorno da fazenda original se posiciona abaixo da curva da fronteira eficiente, em que o risco calculado é de 0,619 e o retorno sobre o custo total de 27,3% (Figura 23). Logo, pode ser encontrado na curva teórica um ponto com maior retorno e igual risco da fazenda original, ou ainda, com menor risco e maior rentabilidade.

Para fazenda original, a combinação de área é composta por 58.707,9 hectares de algodão safra, 93.201,8 hectares de soja e 28.977,3 hectares de milho 2ª safra. Já o ponto de inflexão da fronteira eficiente apresenta combinação do uso da área com 16.948,6 ha de algodão safra, 138.051,4 ha de soja e 30.060,6 ha de milho 2ª safra – fazenda simulada 7 na Tabela 15. Em contraste, a fazenda do ponto de inflexão apresenta menor risco e maior rentabilidade que a fazenda original, fato que está ligado principalmente à divisão de área da primeira safra, dado que o ponto de inflexão possui 71% a menos de área com algodão safra e 48% a mais com soja. Desta forma, ainda na curva de fronteira eficiente, pode-se encontrar um ponto com mesmo risco que a fazenda original, mas com maior retorno por cada real investido. Para este caso, o uso original da área precisaria reduzir apenas 3% da área com algodão safra e aumentar 5% da soja e 7% da área de milho 2ª safra. Assim a RLT também seria superior em 3%.

Figura 23. Fronteira eficiente que maximiza a relação retorno e risco para combinação de algodão safra, soja e milho 2ª safra na região Centro Leste.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Obs: O ponto “Fazenda Original” representa os resultados do uso de área da fazenda levantada no estudo.

Tabela 15. Risco, retorno e combinação do uso da área, em mil hectares, com algodão safra, soja e milho 2ª safra para as fazendas da fronteira eficiente e a original.

	Fazenda Original	Fazendas simuladas												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Risco	61,9%	89,2%	66,5%	60,0%	56,7%	53,1%	50,8%	49,7%	49,7%	51,3%	53,3%	57,0%	61,4%	62,8%
Retorno	27,3%	23,9%	37,4%	38,5%	46,4%	45,3%	42,3%	39,4%	38,8%	35,8%	34,3%	32,5%	30,9%	30,5%
Algodão safra	58,7	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	16,9	19,2	30,9	38,2	47,9	57,2	60,0
Soja	93,2	60,1	98,8	104	155	155	147	138,1	135,8	124,1	116,8	107,1	97,8	95,0
Milho 2ª safra	29,0	0,7	0,0	16,0	1,1	31,0	30,9	30,1	30,8	31,0	29,7	31,0	31,0	31,0

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Obs: “Fazenda Original” representa o uso de original da área levantada no estudo e, “Fazenda simuladas”, os usos alternativos simulados pelo modelo de otimização.

Para melhor explorar os dados da fronteira eficiente, foram selecionadas na curva teórica treze fazendas com combinações de áreas diferentes, descritas na Tabela 15. Logo na sequência, nas Figura 24 e Figura 25 estão apresentados o comparativo das relações entre retorno e riscos destas fazendas escolhidas e a comparação com original.

Na fronteira eficiente, os conjuntos de áreas com melhor relação risco-retorno são formados pelo uso total da área da primeira safra (155.000 ha) (fazendas 4 a 7, Figura 24). O interessante na curva teórica é que o monocultivo de soja, embora apresente o maior retorno observado, expõe a fazenda a maiores riscos e, por isso, acrescentar até 11% da primeira safra com algodão contribui para suavizar o risco de produção e manter a rentabilidade acima do ponto de inflexão. Contudo, quando se extrapola o uso desses 11% da área de verão com algodão, a fazenda perde retorno com maior exposição ao risco (vide fazendas 5 a 13).

O milho 2ª safra, por outro lado, atua como mitigador do risco na região Centro Leste. Nas melhores condições de risco-retorno da fronteira, ao acrescentar área da segunda safra com milho, os riscos são consideravelmente reduzidos, mas com perdas de rentabilidade, como observado nos resultados das fazendas 4 e 5. Além disso, o maior retorno sobre o custo total encontrado na curva teórica, corresponde ao uso de uma pequena parcela de 1.073,7 ha de milho 2ª safra, em conjunto com 155.000 ha de soja – fazenda 4.

Figura 24. Combinação do uso da área, risco, retorno sobre o custo total e probabilidade de renda negativa ($Pr RLT < 0$) de algodão safra, soja e milho 2ª safra, para as fazendas da fronteira eficiente e a original.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Figura 25. Combinação do uso da área, receita líquida total (RLT) e retorno sobre o custo total de algodão safra, soja e milho 2ª safra, para as fazendas da fronteira eficiente e a original.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Embora, o acréscimo de área de algodão safra e milho represente perda de retorno percentual para a fazenda, implica, por outro lado, em maiores somas de receitas líquidas

monetárias (Figura 25). Dessa forma, o modelo aponta que para maximizar a receita líquida deve se usar o máximo de área disponível, o que representa a fazenda 13 com uso de R\$ 621.714.149,84 do recurso e o conjunto de área com 60.000 ha com algodão safra, 95.000 ha com soja e 31.000 ha de milho 2ª safra. Contudo, enquanto o milho na segunda safra é capaz de adicionar renda a propriedade com redução do risco, o algodão safra aumenta o montante da receita líquida deixando, a produção mais arriscada quando ultrapassa os 11% do total de área disponível na primeira safra.

Convém retomar que a teoria do portfólio assume que investidores são avessos ao risco e somente aceitarão exposição maior ao risco se forem compensados por aumento dos retornos esperados (MARKOWITZ, 1959). Contudo, as combinações de área que maximizam a receita líquida (Figura 25) estão alocadas na curva decrescente ao ponto de inflexão, cuja decisão da melhor condição da relação-risco retorno dependerá do perfil do produtor e também se está analisando mais o retorno monetário total ou sua relação com o investimento total.

4.5.3 Resultados gerais

De modo geral, os resultados nas duas regiões do modelo de otimização via simulação mostrou que posicionar a soja no total de área disponível na primeira safra resulta em maior retorno sobre o custo total. Também, para ambas, o acréscimo de área de segunda safra provoca redução dos retornos das fazendas localizadas na fronteira eficiente.

Por outro lado, o aumento da área da 2ª safra produz menor exposição ao risco da propriedade, ao passo que adicionar mais área de algodão 2ª safra mantém maiores ganhos de receita líquida que na adição de área do cereal. Ao que os dados do modelo indicam, o algodão deve ser utilizado na segunda safra no total de área possível visando ganhos máximos receita, sendo acrescentado o milho no restante da segunda safra para atenuar o risco de produção e garantir ainda mais renda líquida.

Quanto a primeira safra, o algodão pode ser adicionando em maior proporção na fazenda quando o intuito for maximizar a renda, considerando sempre o ajuste do risco que o investidor rural está disposto a aceitar. Entretanto, zerar a área com algodão na primeira safra não acarreta na menor exposição de risco observada. Na curva teórica gerada pelo modelo, o menor risco de produção está ligado ao uso total da área de verão, com 11% ocupada pelo algodão e o restante pela soja.

Portanto, pode-se concluir que a diversificação de culturas contribuiu para a gestão de risco de propriedade, como já apontado pelos diversos autores referenciados nesse estudo, entre eles: Olson (2010), Rodriguez et al. (2011), Power et al. (2011), Kay, Edwards e Duffy (2014) e Rădulescu, Rădulescu e Zbăganu (2014).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No geral, os dados mostraram que o cultivo de soja apresenta o menor risco de obter receita líquida negativa quando comparados aos resultados de algodão e milho. Quando considerados os sistemas de produção, os resultados apontam que a introdução do milho na segunda safra incorreu em poucos ganhos ou redução da renda, enquanto o algodão 2ª safra aumentou a renda quando somado ao sistema com a oleaginosa, apesar de ter aumentado também o prejuízo em cenários pessimistas, devido ao maior custo de produção do algodão em relação a soja e milho.

A opção pelo algodão safra também se mostrou interessante, dado que apresentou ganhos de receita com o aumento do risco de receita líquida negativa, ou seja, registrou lucros superiores aos outros sistemas, apesar do risco de prejuízo ser maior. Ressalta-se que o milho 2ª safra demonstrou risco de prejuízo muito superior as outras culturas, principalmente quando considerado o custo total. Os principais fatores de oscilação da renda foram o preço e a produtividade. Entretanto, ainda que individualmente o cultivo de milho seja arriscado, é uma das poucas opções para segunda safra no Mato Grosso, de forma que contribui para diluição dos custos fixos. O seu cultivo também está ligado a outros importantes fatores, como conservação de solo, ciclagem nutrientes e elevação da matéria orgânica (VALADÃO et al., 2015).

Agora, sob a ótica da teoria do portfólio, no qual os resultados se embasam nas combinações do uso da área da fazenda, os dados que constroem a fronteira eficiente mostram que a utilização de soja na totalidade de área de verão resulta em maiores ganhos de rentabilidade, mas não em maiores receitas líquidas, em ambas regiões. A maximização da renda é contribuição do acréscimo de área do algodão na primeira safra, que por outro lado expõe a fazenda a maior risco de produção quando ultrapassado 11% do uso da fazenda.

A introdução de área na segunda safra mostrou-se interessante para mitigar os riscos da propriedade, sendo que o algodão 2ª safra no Agregado Norte foi mais eficaz em manter as receitas líquidas maiores para a propriedade. Ao que os dados indicam, a diversificação de culturas na propriedade é o melhor caminho para gerir o risco, dado que o conjunto do uso de todas opções disponíveis, apresentaram as melhores condições entre retorno e risco da fronteira eficiente.

Entretanto, os dados coletados no trabalho não permitiram a análise de risco em uma fazenda que considerasse as quatro opções de cultivo, ou seja, soja e algodão para safra de verão e algodão e milho na segunda safra. Infelizmente, as condições geográficas desiguais

não permitem uma comparação eficaz entre as regiões Agregado Norte e Centro Leste, tal que a última apresentou valores para risco muito inferiores aos da outra.

Além do mais, o trabalho não considerou especificar o risco de cada tecnologia envolvida na produção, principalmente, em virtude das grandes mudanças tecnológicas observadas nas safras analisadas. Também não foi possível nos dados obtidos isolar uma única tecnologia de algodão que se mantivesse nas quatro temporadas e, portanto, os resultados do estudo representam uma fazenda com um conjunto amplo de tecnologias de algodão, soja e milho descritas nos resultados.

Outro ponto a ser ressaltado, é que as variáveis preço e produtividade são as mais sensíveis a determinação dos resultados de rentabilidade e risco da produção. Esse fato aponta, que além da diversificação de culturas, ferramentas financeiras, como contratos futuros e mecanismos de *hedgings*, podem ser somados para auxiliar o produtor agrícola a se proteger das variabilidades de mercado, dado que é um tomador de preços nas duas pontas.

Trabalhos desta natureza devem buscar cada vez mais o detalhamento e inserções de novas variáveis, inclusive com o detalhamento de investimentos em imobilizados, uma vez que, no final, a relação entre as culturas vai depender da aptidão ao risco por parte de cada produtor, assim como dos recursos necessários, ou seja, as análises de riscos devem ser avaliadas individualmente e não devem ser generalizadas. Os resultados aqui apresentados sinalizam um contexto médio regional, sendo que aspectos relacionados às questões agronômicas, financeiras, entre outros, devem ser avaliados conjuntamente. Modelos com outras alternativas de sistemas e metodologias de análises também devem ser avaliados.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, A. C. O. **Risco e retorno de investimento em citros no Brasil**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2010.
- AKAIKE, H. A New Look at the Statistical Model Identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974.
- ALVES, L. R. A.; BARROS, G. S. C.; OSAKI, M. Custo de produção e gestão operacional das fazendas. In: BELOT, J. L. (Ed.). **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso - safra 2014/15**. 2^a ed. Cuiabá: Casa da Árvore, 2015. p. 30–45.
- ALVES, L. R. A.; LIMA, F. F.; FERREIRA FILHO, J. B. Aspectos econômicos da produção de algodão no Brasil. In: BORÉM, A.; FREIRE, E. C. (Eds.). **Algodão do Plantio à Colheita**. 1^a ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 9–30.
- AMPA. **Associação Mato-grossense do Algodão. Núcleos Regionais**. Disponível em: <http://www.ampa.com.br/site/nucleos_regionais.php>. Acesso em: 1 maio. 2018.
- ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. 6^a ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- AZADIVAR, F. **Simulation Optimization Methodologies**. Winter Simulation Conference. **Anais...1999** Disponível em: <<https://www.informs-sim.org/wsc99papers/012.PDF>>. Acesso em: 15 jun. 2018
- BARNARD, C. S.; NIX, J. S. **Farm planning and controlling**. Cambridge: Cambridge, 1973.
- BARROS, G. S. C. **Gestão de negócios agropecuários com foco no Patrimônio**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2014.
- BLANK, S. C. Returns to Limited Crop Diversification. **Western Journal of Agricultural Economics**, v. 15, n. 2, p. 204–212, 1990.
- BOGGESE, W. G.; ANAMAN, K. A.; HANSON, G. D. . Importance, causes, and management responses to farm risks: evidence from Florida and Alabama. **Southern Journal of Agricultural Economics**, v. 17, n. 2, p. 105–116, 1985.
- BORSATO, F. P. **Variabilidade Pluviométrica e Produção Agrícola na Mesorregião Centro Ocidental Paranaense**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2013.
- BRINK, L.; MCCARL, B. The Tradeoff between Expected Return and Risk among Cornbelt Farmers. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 60, n. 2, p. 259–263, 1 maio 1978.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. **Sociological Methods & Research**, v. 33, n. 2, p. 261–304, 2004.
- BURTON JUNIOR, R. O. et al. Teaching Management for Specialized Agricultural Industries. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 78, n. 5, p. 1222–1227, 1996.

CARVALHO, C. R. F. et al. Ciência rural : publicação de Universidade Federal de Santa Maria. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, p. 2293–2299, 1 dez. 2014.

CEPEA/AMPA/IMAMT. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada / Associação Matogrossense dos Produtores de Algodão**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/gestao-do-negocio-agropecuario.aspx>>. Acesso em: 1 fev. 2018.

CEPEA. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/>>. Acesso em: 1 maio. 2018.

COELHO JUNIOR, L. M. et al. Análise de investimento de um sistema agroflorestal sob situação de risco. **Cerne**, v. 14, n. 4, p. 368–378, 2008.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Série histórica das safras**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 2 maio. 2018.

CREPALDI, S. A. **Contabilidade rural: uma abordagem decisorial**. São Paulo: Atlas, 1998.

CTNBIO. **Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. Liberações Comerciais. Tabela de Plantas**. Disponível em: <http://ctnbio.mcti.gov.br/liberacao-comercial/-/document_library_display/SqhWdohU4BvU/view/1684467?_110_INSTANCE_SqhWdohU4BvU_redirect=http%3A%2F%2Fctnbio.mcti.gov.br%2Fliberacao-comercial%2F-%2Fdocument_library_display%2FSqhWdohU4BvU%2Fview%2F614405%3F_1>. Acesso em: 2 jun. 2018.

DE ZEN, S. **Diversificação como forma de gerenciamento de risco na agricultura**. [s.l.] Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2002.

DILL, R. P.; CRUZ DE SOUZA, F.; BORBA, J. A. Uma proposta de um modelo de otimização do portfólio para as culturas de verão. **Custos e @gronegocio on line**, v. 6, n. 3, 2010.

DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C. **A evolução da produção de milho no Mato Grosso: a importância da safrinha**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/486134/1/Com150.pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2018.

EFFERSON, J. N. **Principles of farm management**. New York: McGraw-Hill, 1953.

ESPERANCINI, M. S. T. **Avaliação econômica de sistemas de sucessão de culturas sob condição de risco no estado de São Paulo, 2005**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, 2006.

EVANS, J. R.; OLSON, D. L. **Introduction to simulation and risk analysis**. Upper Saddle Rive/NJ: Prentice Hall, 1998.

FERNANDES, K. C. C. **Análise de risco de projetos de integração lavoura-pecuária em goiás**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2012.

FERREIRA FILHO, J. B. S.; ALVES, L. R. A.; GOTTARDO, L. C. B. Aspectos econômicos do algodão no cerrado: ajustes estruturais e consolidação. In: ELEUSIO CURVELO FREIRE (Ed.). . **Algodão no cerrado do Brasil**. 2^a ed. Aparecida de Goiânia: Mundial Gráfica, 2011. p. 61–100.

FIGUEIREDO, R. S. et al. Otimização da relação retorno/risco em projetos de integração lavoura-pecuária. **Custos e @gronegócio on line**, v. 10, n. 2, p. 313–337, 2014.

FLYVBJERG, B. Case Study. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Eds.). . **Handbook of Qualitative Research**. 4^a ed. Los Angeles: Sage, 2011. p. 301–316.

FREUND, R. J. The introduction of risk into a programming model. **Econometrica**, v. 24, n. 3, p. 253–263, 1956.

GABRIEL, J. L.; GARRIDO, A.; QUEMADA, M. Cover crops effect on farm benefits and nitrate leaching: Linking economic and environmental analysis. **Agricultural Systems**, v. 121, p. 23–32, 2013.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, E. M. **Risco econômico em sistemas de produção com integração lavoura pecuária (iLP): um estudo de caso em Tangará da Serra -MT**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

HANSON, J. D. et al. Dynamic Cropping Systems: Increasing Adaptability Amid an Uncertain Future. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 4, p. 939–943, 2007.

HAZELL, P. B. R. A Linear Alternative to Quadratic and Semi Variance Programming for Farm Planning Under Uncertainty. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 53, n. 1, p. 53–62, 1971.

HELD, L. J.; ZINK, R. A. Farm Enterprise Choice: Risk-Return Tradeoffs for Cash-Crop versus Crop-Livestock Systems. **North Central Journal of Agricultural Economics**, v. 4, n. 2, p. 11–19, 1982.

HERTZ, D. B. Risk Analysis in Capital Investment. **Harvard Business Review**, p. 169–181, 1979.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/990000/1/Oagronegociodasojanoscontextosmundialebrasileiro.pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2018.

HOFFMANN, R. et al. **Administração da empresa agrícola**. 5^a ed. São Paulo: Pioneira, 1987.

HOWDEN, S. M. et al. Adapting agriculture to climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 50, p. 19691–19696, dez. 2007.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Produção Agrícola Nacional - PAM.** Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

IMEA. **Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária.** Disponível em: <<http://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado>>. Acesso em: 1 maio. 2018.

JOHNSON, N. L.; KOTZ, S.; BALAKRISHNAN, N. **Continuous univariate distributions.** 2nd. ed. New York: Wiley & Sons, 1995.

KAY, R. D. **Farm management.** 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1986.

KAY, R. D.; EDWARDS, W. M.; DUFFY, P. A. **Gestão de Propriedades Rurais.** 7ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

KOTZ, S.; KOZUBOWSKI, T. J.; PODGÓRSKI, K. **The Laplace Distribution and Generalizations.** Boston: Birkhäuser, 2001.

LUO, Q.; BEHRENDT, K.; BANGE, M. Economics and risk of adaptation options in the Australian cotton industry. **Agricultural Systems**, v. 150, p. 46–53, 2017.

MARKOWITZ, H. M. **Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments.** [s.l.] Yale University, 1959.

MARTINES FILHO, J. G.; PERES, F. C. Mecanismos de administração de riscos. In: **Série didática 122 - Noções de economia e administração.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. p. 232–252.

MELO, C. O. DE; DA SILVA, G. H.; ESPERANCINI, M. S. T. Análise econômica da produção de soja e de milho na safra de verão, no Estado do Paraná. **Revista de Política Agrícola**, v. 21, n. 1, p. 121–132, 2012.

MILLER, A.; BOEHLJE, M.; DOBBINS, C. **Positioning the farm business:** 9. Indiana: [s.n.]. Disponível em: <<https://ageconsearch.umn.edu/bitstream/28647/1/sp98-09.pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2018.

MINARDI, A. M. A. F. Teoria das Opções aplicadas a projetos de investimentos. **Revista de Administração de Empresas**, v. 40, n. 2, p. 74–79, 2000.

MOSS, C. B. **Risk, uncertainty and the agriculture firm.** Danvers: World Scientific, 2010.

MYERS, M. Discussion: Farm Management. **Journal of Farm Economics**, v. 35, n. 5, p. 679–682, dez. 1953.

O'DONOGHUE, E.; KEY, N.; ROBERTS, M. **Does risk matter for farm businesses? The effect of crop insurance on production and diversification.** Report of Economic Research. **Anais...** Providence: AAEA meetings in Providence, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Michael_Roberts20/publication/23506137_Does_risk_matter_for_farm_businesses_The_effect_of_crop_insurance_on_production_and_diversification/links/0c960528c602595172000000/Does-risk-matter-for-farm-businesses-The-effect->>. Acesso em: 29 jan. 2018

OLIVEIRA, M. R. G.; MEDEIROS NETO, L. B. Simulação de Monte Carlo e valuation: uma abordagem estocástica. **REGE**, v. 19, n. 3, p. 493–512, 2012.

OLSON, K. D. **Economics of farm management in a global setting**. Hoboken: WILEY, 2010.

OSAKI, M. **Gestão financeira e econômica da propriedade rural com multiproduto**. [s.l.] Universidade Federal de São Carlo, 2012.

OSAKI, M.; BATALHA, M. O. Optimization model of agricultural production system in grain farms under risk, in Sorriso, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 127, p. 178–188, 2014.

PEREIRA, C. M. M. A. et al. Cadeia produtiva do tomate na região de Barbacena sob a ótica da economia dos custos de transação. **Informações Econômicas**, v. 37, n. 12, p. 36–49, 2007.

PONCIANO, N. J. et al. Análise de Viabilidade Econômica e de Risco da Fruticultura na Região Norte Fluminense. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 4, p. 615–635, 2004.

POWER, B. et al. A multi-field bio-economic model of irrigated grain-cotton farming systems. **Field Crops Research**, v. 124, n. 2, p. 171–179, 2011.

RĂDULESCU, M.; RĂDULESCU, C. Z.; ZBĂGANU, G. A portfolio theory approach to crop planning under environmental constraints. **Annals of Operations Research**, v. 219, n. 1, p. 243–264, 2014.

RODRIGUEZ, D. et al. The intrinsic plasticity of farm businesses and their resilience to change. An Australian example. **Field Crops Research**, v. 124, n. 2, p. 157–170, 2011.

RODRIGUEZ, D.; SADRAS, V. O. Opportunities from integrative approaches in farming systems design. **Field Crops Research**, v. 124, n. 2, p. 137–141, 2011.

ROSOLEM, C. A. Exigências edafoclimáticas. In: BORÉM, A.; FREIRE, E. C. (Eds.). . **Algodão do Plantio à Colheita**. Viçosa: UFV, 2014. p. 67–89.

SCHRANK, A. Case studies. In: PERECMAN, E.; CURRAN, S. R. A. (Eds.). . **Handbook for Social Science Field Research**. 1^a ed. Thousand Oaks: SAGE, 2006. p. 21–46.

SCOTT, J. T.; BAKER, C. B. A Practical Way to Select An Optimum Farm Plan Under Risk. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 54, n. 4, p. 657–660, 1972.

SEO, S. N. Is an integrated farm more resilient against climate change? A micro-econometric analysis of portfolio diversification in African agriculture. **Food Policy**, v. 35, n. 1, p. 32–40, 2010.

SIMÕES, D.; CABRAL, A. C.; OLIVEIRA, P. A. Citriculture economic and financial evaluation under conditions of uncertainty. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 4, p. 859–869, 2015.

SOBENKO, L. R. et al. Estimativa da necessidade de irrigação na cultura do milho “safrinha” em Sorriso-MT por métodos agroclimáticos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 3, p. 543–556, 3 out. 2016.

SOUZA, P. M. DE et al. Otimização econômica, sob condições de risco, para agricultores familiares das regiões Norte e Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Operacional**, v. 28, n. 1, p. 123–139, 2008.

STOTT, K. et al. **Benefits, costs and risks of nutrient use in cropping in the high-rainfall zone of southern Australia**. International Nitrogen Initiative Conference. **Anais...**Melbourne: 2016Disponível em: <http://www.ini2016.com/pdf-papers/INI2016_Stott_Kerry1.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2018

TACHINARDI, R. O cultivo algodoeiro em Mato Grosso. In: BELOT, J. (Ed.). . **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso - safra 2014/15**. 2^a ed. Cuiabá: Casa da Árvore, 2015. p. 12–17.

TUNG, N. H. **Planejamento e controle financeiro das empresas agropecuárias**. São Paulo: Universidade-Empresa, 1990.

USDA. **United States Department of Agriculture. PSD online**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/compositeViz>>. Acesso em: 9 fev. 2017.

VALADÃO, F. C. DE A. et al. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 243–255, fev. 2015.

VALE, M. L. R. et al. Percepção e respostas gerenciais ao risco: um estudo sobre os produtores de leite do programa de desenvolvimento da pecuária leiteira da região de Viçosa – MG. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 5, n. 2, p. 253–278, 2007.

VICTORINO, I. R. DE S. **Otimização de um Reator Industrial de Produção de Álcool Cíclico Utilizando Algoritmos Genéticos**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2005.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXOS

Anexo A. Matriz de correlação das simulações da soja no Agregado Norte.

Correlação	fert soja	sem soja	herb soja	ins soja	fung soja	outr soja	opmec soja	opterc soja	mo soja	impos soja	arrend soja	astec soja	juros soja	carpest soja	carpterr soja	preço soja	prod soja
fert soja	1																
sem soja	-0,124	1															
herb soja	0,1657	0,024	1														
ins soja	0,468	-0,317	0,3887	1													
fung soja	0,4077	-0,254	0,4002	0,5872	1												
outr soja	-0,394	0,178	0,4418	-0,138	0,0929	1											
opmec soja	0,1886	-0,315	0,0431	0,1731	-0,05	-0,082	1										
opterc soja	-0,219	0,1937	-0,095	-0,198	-0,211	0,1013	-0,442	1									
mo soja	0,064	-0,292	0,6606	0,3736	0,3304	0,1415	0,0691	-0,25	1								
impos soja	-0,525	-0,188	-0,529	-0,319	-0,25	0,0621	0,1439	0,2405	-0,487	1							
arrend soja	-0,114	-0,034	-0,172	0,0272	-0,166	0,0144	0,118	-0,067	-0,091	0,2086	1						
astec soja	0,4107	-0,071	-0,027	0,2933	0,0431	-0,091	0,4906	-0,319	-0,081	0,0402	-0,021	1					
juros soja	0,4223	-0,038	0,5513	0,5201	0,4563	0,0911	-0,001	0,1981	0,5386	-0,461	-0,278	0,0678	1				
carpest soja	0,0607	-0,297	0,2458	0,35	0,1577	-0,001	0,2001	-0,557	0,6341	-0,416	0,397	0,0247	0,1863	1			
carpterr soja	0,4442	0,1991	0,318	0,0965	0,3965	0,0067	0,0226	0,0041	0,1903	-0,512	-0,702	0,1383	0,5196	-0,165	1		
preço soja	-0,144	0,1322	0,3328	0,1955	0,1927	0,3428	0,0409	-0,098	0,2228	-0,09	0,3294	0,0874	0,3384	0,4231	-0,105	1	
prod soja	-0,495	-0,097	-0,276	-0,046	-0,259	0,0269	0,2436	0,2074	-0,328	0,772	0,4985	0,0758	-0,406	-0,149	-0,593	0,0215	1

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Anexo B. Matriz de correlação das simulações do algodão 2ª safra no Agregado Norte.

Correlação	fert alg	sem alg	herb alg	ins alg	fung alg	out alg	opmec alg	opterc alg	mo alg	imp alg	arrend alg	astec alg	juros alg	carpest alg	carpterr alg	preço alg	prod alg
fert alg	1																
sem alg	-0,014	1															
herb alg	0,235	-0,33	1														
ins alg	0,284	-0,484	0,2535	1													
fung alg	0,1319	-0,085	0,0691	0,367	1												
out alg	-0,265	0,2074	-0,157	-0,131	0,2893	1											
opmec alg	-0,502	0,0522	-0,172	0,0283	-0,039	0,2696	1										
opterc alg	0,25	0,1379	-0,046	-0,234	0,0982	0,1055	-0,389	1									
mo alg	-0,393	-0,05	0,1297	0,1311	-0,001	-0,153	0,5414	-0,501	1								
imp alg	0,6493	0,1305	-0,03	0,335	0,2597	0,0352	-0,339	0,2478	-0,426	1							
arrend alg	0,3559	0,074	-0,037	0,1789	-0,091	-0,119	-0,087	0,3877	-0,022	0,5901	1						
astec alg	0,2345	0,2559	-0,143	0,1014	0,2359	0,5617	0,2378	-0,008	-0,391	0,5864	0,2109	1					
juros alg	-0,059	0,2427	-0,004	-0,117	0,2326	0,4403	0,3512	0,1044	0,0488	0,081	0,0158	0,373	1				
carpest alg	-0,292	0,0609	0,0954	-0,143	-0,021	0,2045	0,6296	-0,247	0,3722	-0,494	-0,383	0,0925	0,4027	1			
carpterr alg	-0,266	-0,18	0,1544	-0,116	0,3401	0,0474	-5E-04	-0,062	0,079	-0,579	-0,722	-0,313	0,075	0,4489	1		
preço alg	0,1807	0,3341	-0,172	-0,49	-0,417	0,2387	-0,25	0,4999	-0,442	0,1128	0,1526	0,1126	0,2107	-0,084	-0,189	1	
prod alg	0,489	0,1859	-0,125	0,3639	0,3678	0,1272	-0,121	0,1888	-0,327	0,9369	0,5225	0,6657	0,2476	-0,304	-0,482	-0,018	1

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Anexo C. Matriz de correlação das simulações do milho 2ª safra no Agregado Norte.

Correlação	fert mil	sem mil	herb mil	ins mil	fung mil	outr mil	opmec	opterc	mo mil	impost	arrend	astec n	juros m	carpest	carpter	preço n	prod mil
fert mil	1																
sem mil	0,354	1															
herb mil	-0,14	-0,02	1														
ins mil	-0,09	-0,08	0,246	1													
fung mil	-0,31	0,075	0,519	0,526	1												
outr mil	0,12	-0,31	0,066	0,168	-0,14	1											
opmec	-0,02	-0,12	-0,17	0,026	0,071	0,299	1										
opterc	-0,04	0,14	-0,46	-0,18	-0,38	-0,1	-0,52	1									
mo mil	0,001	-0,35	0,327	0,146	0,377	-0,12	0,515	-0,77	1								
impost	0,335	-0,11	-0,31	-0,02	-0,17	0,655	0,419	0,091	-0	1							
arrend	0,044	-0,54	0,152	0,007	-0,02	0,692	0,203	-0,1	0,246	0,618	1						
astec n	0,014	-0,27	-0,03	-0,02	-0,06	0,828	0,546	-0,06	-0,01	0,718	0,706	1					
juros m	0,13	-0,32	0,142	0,255	-0,16	0,371	0,461	-0,3	0,43	0,317	0,188	0,299	1				
carpest	0,092	-0,62	0,124	0,059	0,072	0,425	0,344	-0,58	0,621	0,359	0,637	0,385	0,424	1			
carpter	-0,54	-0,05	0,075	0,413	0,241	-0,3	0,077	-0,23	0,111	-0,5	-0,57	-0,35	0,267	-0,06	1		
preço n	-0,14	-0,62	0,136	0,459	0,25	0,019	0,099	-0,35	0,599	0,036	0,279	-0,03	0,405	0,644	0,291	1	
prod mil	0,412	0,198	-0,43	-0,24	-0,31	0,419	0,146	0,484	-0,42	0,8	0,323	0,505	-0,04	-0,16	-0,68	-0,38	1

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Anexo D. Matriz de correlação das simulações do algodão safra no Centro Leste.

Correlação	fert alg	sem alg	herb alg	ins alg	fung alg	outr alg	opmec	opterc	mo alg	impost	arrend	astec a	juros a	carpes	carpte	preço a	prod alg
fert alg	1																
sem alg	0,078	1															
herb alg	0,306	-0,01	1														
ins alg	-0,35	-0,29	-0,29	1													
fung alg	-0,03	0,331	0,02	0,157	1												
outr alg	-0,53	-0,04	-0,04	0,412	0,029	1											
opmec	0,234	0,051	0,365	-0,31	0,385	-0,53	1										
opterc	-0,06	-0,27	-0,29	0,343	-0,42	0,338	-0,87	1									
mo alg	-0,56	0,258	-0,14	0,173	0,521	0,181	0,336	-0,46	1								
impost	-0,15	-0	-0,57	-0,11	-0,01	-0,08	-0,11	0,024	0,041	1							
arrend	-0,38	0,268	-0,28	0,009	0,243	0,113	0,282	-0,46	0,324	0,1	1						
astec a	0,596	-0,14	0,573	-0,31	-0,13	-0,37	0,408	-0,24	-0,45	0,009	-0,38	1					
juros a	0,082	0,382	0,044	0,291	0,397	-0,08	0,174	-0,11	0,523	-0,32	-0,17	-0,1	1				
carpes	-0,04	0,159	0,182	-0,31	0,38	-0,39	0,831	-0,84	0,593	0,157	0,233	0,236	0,202	1			
carpte	0,34	-0,06	0,463	-0,09	-0,3	0,012	-0,21	0,27	-0,32	-0,22	-0,8	0,579	0,232	-0,14	1		
preço a	0,018	0,416	-0,16	-0,07	0,391	-0,38	0,568	-0,58	0,597	0,181	0,317	0,002	0,639	0,663	-0,17	1	
prod alg	-0,28	0,006	-0,66	0,001	-0,05	0,116	-0,37	0,243	0,045	0,904	0,057	-0,25	-0,3	-0,11	-0,23	-0,04	1

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Anexo E. Matriz de correlação das simulações da soja no Centro Leste.

Correlação	fert soja	sem soja	herb soja	ins soja	fung soja	outr soja	opmec s	Conjunt	mo soja	impos s	arrend s	astec s	juros s	carpest	carpterr	preço s	prod soja
fert soja	1																
sem soja	0,2582	1															
herb soja	0,3304	0,2634	1														
ins soja e	-0,216	-0,063	-0,079	1													
fung soja	0,1188	0,4693	0,4544	0,4637	1												
outr soja	-0,497	0,1755	0,2266	0,1695	0,494	1											
opmec so	0,3231	0,1841	0,2508	-0,085	0,1119	-0,121	1										
Conjunto	-0,1	-0,24	-0,41	0,0421	-0,232	-0,109	-0,729	1									
mo soja e	0,2183	0,5052	0,5112	0,3837	0,6369	0,3588	0,4238	-0,69	1								
impos soja	-0,635	-0,719	-0,31	0,1788	-0,348	0,0388	-0,31	0,059	-0,351	1							
arrend so	-0,533	0,1997	-0,044	0,5011	0,5313	0,6709	0,0714	-0,173	0,3498	0,1076	1						
astec soja	0,2147	-0,143	0,1669	0,2365	0,3515	-0,358	0,3566	-0,365	0,1796	0,0913	-0,075	1					
juros soja	0,576	0,6238	0,3767	0,2755	0,6229	0,1205	0,3546	-0,205	0,6832	-0,827	0,1739	0,0993	1				
carpest s	0,195	0,1394	0,4158	0,2279	0,4942	0,0899	0,5585	-0,706	0,6601	-0,14	0,1528	0,7248	0,4256	1			
carpterra	0,2883	-0,112	-0,121	-0,351	-0,102	-0,169	-0,126	0,2709	-0,312	-0,239	-0,537	-0,06	0,0118	-0,302	1		
preço soja	0,1626	0,4922	0,5939	0,2017	0,6358	0,1756	0,0872	-0,485	0,6892	-0,166	0,2103	0,2729	0,3994	0,4268	-0,148	1	
prod soja	-0,074	0,3378	0,1486	-0,208	0,3526	0,3843	0,3327	-0,173	0,1507	-0,333	0,2869	0,0321	0,2799	0,1874	0,1824	0,043	1

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Anexo F. Matriz de correlação das simulações do milho 2ª safra no Agregado Norte.

Correlação	fert milho	sem milh	herb milh	ins milho	fung milh	outr milh	opmec m	opterc e	mo milho	impost m	arrend n	astec mil	juros mil	carpest	carpterra	preço mil	prod milh
fert milho	1																
sem milh	-0,02	1															
herb milh	-0,511	0,4325	1														
ins milho	0,5107	-0,261	-0,614	1													
fung milh	0,1532	0,0166	-0,372	0,5637	1												
outr milh	0,0236	0,1559	0,3044	0,0787	-0,009	1											
opmec m	0,4598	0,356	-0,068	0,4617	0,41	0,0049	1										
opterc e	-0,376	-0,72	-0,351	-0,071	0,1377	-0,135	-0,484	1									
mo milho	0,7813	0,0033	-0,399	0,7327	0,4567	0,0492	0,6873	-0,347	1								
impost m	0,4803	0,142	-0,421	0,2737	-0,043	0,2544	0,1877	-0,111	0,2329	1							
arrend n	-0,139	0,1201	0,0783	0,5344	0,386	0,3126	0,2294	-0,111	0,3787	0,0177	1						
astec mil	0,6336	0,4471	-0,262	0,3959	0,3567	-0,155	0,7015	-0,556	0,6665	0,1005	-0,021	1					
juros mil	0,8604	-0,174	-0,423	0,6362	0,436	0,037	0,6045	-0,196	0,8505	0,3573	0,0636	0,5456	1				
carpest	0,7671	0,3241	-0,191	0,5313	0,0378	0,0111	0,7363	-0,754	0,746	0,3897	0,1162	0,7318	0,6525	1			
carpterra	-0,084	-0,08	0,2846	-0,619	-0,338	0,092	-0,237	0,13	-0,496	-0,242	-0,828	-0,155	-0,175	-0,29	1		
preço mil	0,3911	0,1372	0,0867	0,1158	-0,307	0,4394	0,2227	-0,225	0,3318	0,6293	0,1883	0,1484	0,3775	0,4019	-0,205	1	
prod milh	0,2825	-0,01	-0,639	0,2642	0,1826	-0,089	-0,114	0,057	-0,059	0,6301	-0,205	-0,014	0,092	0,1091	-0,061	-0,168	1

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Anexo G. Análise de sensibilidade pelo método de regressão da renda líquida sobre o custo total da soja na região Agregado Norte.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Anexo H. Análise de sensibilidade pelo método de regressão da renda líquida sobre o custo total do sistema soja + algodão 2ª safra na região Agregado Norte.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Anexo I. Análise de sensibilidade pelo método de regressão da renda líquida sobre o custo total do sistema soja + milho 2ª safra na região Agregado Norte

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Anexo J. Análise de sensibilidade pelo método de regressão da renda líquida sobre o custo total do algodão safra na região Centro Leste.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Anexo K. Análise de sensibilidade pelo método de regressão da renda líquida sobre o custo total da soja na região Centro Leste.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Anexo L. Análise de sensibilidade pelo método de regressão da renda líquida sobre o custo total do sistema soja + milho 2ª safra na região Centro Leste.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)