



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/04.02.11.44-TDI

DECISÕES SOBRE O USO DA TERRA: MODELAGEM E CENÁRIOS PARA A FRONTEIRA AGRÍCOLA ENTRE PARÁ E MATO GROSSO

Nathália Cristina Costa do Nascimento

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto, e Jan Börner, aprovada em 17 de abril de 2019.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3T3H2GE>>

INPE
São José dos Campos
2019

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA N° 176/2018/SEI-INPE):

Presidente:

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Cauê Silva Fróes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/04.02.11.44-TDI

DECISÕES SOBRE O USO DA TERRA: MODELAGEM E CENÁRIOS PARA A FRONTEIRA AGRÍCOLA ENTRE PARÁ E MATO GROSSO

Nathália Cristina Costa do Nascimento

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto, e Jan Börner, aprovada em 17 de abril de 2019.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3T3H2GE>>

INPE
São José dos Campos
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Nascimento, Nathália Cristina Costa do.

Na17d Decisões sobre o uso da terra: modelagem e cenários para a
fronteira agrícola entre Pará e Mato Grosso / Nathália Cristina
Costa do Nascimento. – São José dos Campos : INPE, 2019.
xxiv + 158 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/04.02.11.44-TDI)

Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto
Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019.

Orientadores : Drs. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto, e Jan
Börner.

1. Mudanças de uso da terra. 2. Governança. 3. Redes
bayesianas. 4. Expansão agrícola. 5. Amazônia. I.Título.

CDU 332.3:631(811.5)(817.2)



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Nathália Cristina Costa do Nascimento**

Título: "DECISÕES SOBRE O USO DA TERRA: MODELAGEM E CENÁRIOS PARA A
FRONTEIRA AGRÍCOLA ENTRE PARÁ E MATO GROSSO"

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Doutor(a)** em
Ciência do Sistema Terrestre

Dra. **Angélica Giarolla**

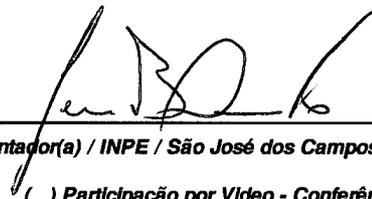


Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado Reprovado

Dr. **Jean Pierre Henry Balbaud Ometto**



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado Reprovado

Dr. **Jan Borner**



Orientador(a) / University of Bonn / Alemanha - DE

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado Reprovado

Dr. **Luiz Antônio Martinelli**



Convidado(a) / CENA/USP / Piracicaba - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Doutor(a)** em
Ciência do Sistema Terrestre

Dr. Raoni Guerra Lucas Rajão



Convidado(a) / UFMG / Belo Horizonte - MG

Participação por Video - Conferência

Aprovado Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 17 de abril de 2019

*“Run, rabbit run
Dig that hole, forget the sun
And when at last the work is done
Don't sit down it's time to dig another one”
Pink Floyd*

Ao meu filho, Dimitri, farol dessa vida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Jean Ometto, que me ensinou com palavras a importância de manter a serenidade diante dos problemas e a focar no potencial que os trabalhos mais simples podem oferecer. E que me ensinou com seus gestos a praticar a humildade e a gentileza. Sou grata por todo respeito e confiança que me dedicou ao longo desses quatro anos.

Ao meu orientador Jan Börner, que foi o principal responsável por me fazer escolher a pesquisa científica como o trabalho da minha vida, ainda em 2007, quando começamos a trabalhar juntos. Desde então, Jan me inspira com seu entusiasmo, perspicácia, ética, rigor e ensino paciente. Sou profundamente grata por todas as oportunidades, ensinamentos e paciência durante o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao meu marido, Alex Saldanha e ao meu filho, Dimitri Saldanha, que tiveram que ouvir (mesmo sem vontade) sobre este trabalho todos os dias de suas vidas nos últimos três anos. Que me acompanharam corajosamente no caminho de São José dos Campos à Trairão, me ajudaram nas entrevistas, nas conversas com os produtores e também foram meu suporte nas horas de desânimo, durante os dois meses que duraram o segundo trabalho de campo e tivemos que adaptar nossa vida à estrada e à pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao projeto *Forests in the global bioeconomy: developing multi-scale policy scenarios* pelo suporte financeiro para execução dos trabalhos de campo.

Aos que foram fundamentais durante o primeiro ano de doutorado longe do meu filho: Lucieta Martorano, pelo apoio, carinho e amizade; Peter Toledo, pelos

conselhos e companhia; e aos colegas de turma, pela parceria nos bons e maus momentos.

Aos amigos que o INPE me trouxe, Lira Luz Benites e Eráclito Souza – Neto que surgiram ao meu lado, nos momentos que precisei.

Aos funcionários da Empaer de Sinop e Guarantã do Norte pelo suporte fundamental que me deram em campo e aos produtores que me concederam entrevista e compartilharam comigo um pouco de suas histórias e lutas.

RESUMO

Mudanças no uso da terra resultam de decisões tomadas por diferentes atores locais em resposta a contextos econômicos e políticos diversos. Compreender este processo de tomada de decisão sobre o uso da terra é fundamental para explicar padrões e tendências e dar suporte à criação de mecanismos eficazes de governança. O presente trabalho teve como objetivo fornecer um método de simulação de mudanças no uso da terra fundamentado na contribuição e percepção de atores locais. O método adotado baseia-se na abordagem de Redes bayesianas, mostrando-se capaz de inserir diferentes aspectos e narrativas qualitativas obtidas em campo a uma base de dados quantitativa e espacialmente explícita.

Um experimento de campo inspirado no arcabouço de jogos de decisão foi desenvolvido para estimular a revelação de decisões sobre uso da terra. As variáveis do jogo foram selecionadas à luz da teoria de *law enforcement*. Os resultados obtidos nessa etapa revelaram um padrão na resposta de produtores pertencentes ao mesmo grupo, mesmo residindo em lugares distintos. Essas respostas foram integradas a uma rede bayesiana, fornecendo resultados espacialmente explícitos e contribuindo para a geração de quatro tipos de cenários, para o ano de 2030, baseados em combinações diversas de mecanismo de governança e incentivos de mercado. A perda de área de floresta é prevista em todos os cenários, sendo que quanto maior o nível de governança, menor essa perda se torna. No entanto, mesmo simulando o pleno funcionamento de todos os mecanismos considerados nesse estudo, uma taxa zero de desflorestamento não foi alcançada, sugerindo a necessidade de mecanismos complementares que estimulem a decisões por usos da terra mais sustentáveis.

Palavras-chave: Mudanças de uso da terra; Governança; Redes bayesianas; Expansão agrícola; Amazônia.

LAND USE DECISIONS: MODELING AND SCENARIOS FOR THE AGRICULTURAL FRONTIER BETWEEN THE STATES OF PARÁ AND MATO GROSSO

ABSTRACT

Land use change results from decisions made by different local actors in response to diverse economic and political contexts. Understanding this land use decision-making process is key to explaining patterns and trends and supporting the creation of effective governance mechanisms. This work aimed to provide a method to simulate land use change based on the contribution and perception of local actors. The method adopted is based on the Bayesian Networks approach and showed a great capacity of integrating different aspects and qualitative narratives obtained in the field into a quantitative and spatially explicit database. We created a field experiment inspired by the decision-game framework to encourage the revelation of land use decisions. We selected the game variables in light of the *law enforcement* theory. The results obtained in this stage revealed a pattern in the response of producers of the same group, even living in different places. We inserted these responses into a Bayesian network, providing spatially explicit results and contributing to the generation of four types of scenarios, for the year 2030, based on various combinations of governance mechanism and market incentives. All scenarios predicted forest loss. The higher the level of governance, the lower this loss becomes. However, even simulating the full functioning of all the mechanisms considered in this study, a zero rate of deforestation was not achieved, suggesting the requirement for complementary mechanisms that stimulate decisions for more sustainable land uses.

Keywords: Land use change; Governance; Bayesian networks; Agricultural expansion; Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Área de estudo.....	18
Figura 3.2. Aspectos biofísicos.....	20
Figura 3.3. Produção de soja na área de estudo.....	24
Figura 3.4. Taxas de desflorestamento na Amazônia e na área de estudo.	25
Figura 3.5. Evolução da estrutura fundiária na área de estudo.....	26
Figura 3.6. Esboço do Jogo de decisão.....	39
Figura 3.7. Tabela de controle de preço utilizada em campo.....	40
Figura 4.1. Trecho do código para geração de Árvores de Decisão.....	47
Figura 4.2. Árvores de decisão pra três grupos de produtores entrevistados.....	55
Figura 4.3. Gráficos de dispersão com cenários.....	59
Figura 5.1. Exemplo de uma Rede bayesiana básica.....	72
Figura 5.2. Primeira etapa de estruturação da Rede Bayesiana.....	76
Figura 5.3. Produção da camada de produtores a ser inserida no modelo.....	77
Figura 5.4. Exemplo da dinâmica de uso da terra no interior de uma propriedade de acordo com cada decisão.....	78
Figura 5.5. Exemplo da organização dos dados inseridos na segunda etapa.....	79
Figura 5.6. Etapas de construção da Rede Bayesiana.....	81
Figura 5.7. Valores utilizados para parametrizar o modelo.....	84
Figura 5.8. Rede bayesiana resultante.....	87
Figura 5.9. Fragmento da área de estudo com o uso da terra observado e o uso da terra simulado.....	90
Figura 5.10. Comparação da classe não observada em 2012 e as baixas similaridades alcançadas.....	94
Figura 5.11. Mapas de probabilidade por classe, gerados pelo modelo.....	96
Figura 6.1. Reavaliação de decisões do grupo de grandes pecuaristas diante dos mecanismos de governança.....	112
Figura 6.2. Reavaliação de decisões do grupo de pequenos pecuaristas diante dos mecanismos de governança.....	114

Figura 6.3. Rede bayesiana adaptada à simulação dos mecanismos políticos locais	116
Figura 6.4. Quantificação de classes de uso da terra (km ²)	117
Figura 6.5. trecho da área de estudo em diferentes cenários	119
Figura A.1 . Croqui de propriedade	145
Figura B.1– Gráficos gerados a partir do método de validação por decaimento exponencial	146
Figura B.2. Gráficos gerados a partir do método de validação por decaimento exponencial	147
Figura C.1 – Mapas de uso da terra observados e simulados para a totalidade da área de estudo	148
Figura C.2. Trecho da área de estudo.....	149
Figura D.1. Mapas de similaridade gerados pela função de Decaimento Exponencial.....	150
Figura E.1 – Probabilidade de ocorrência das classes Floresta, Agricultura anual e Pasto	151
Figura F.1. Decisões reavaliadas pelo grupo de grande produtores de soja diante dos mecanismos de governança.....	152
Figura F.2. Decisões reavaliadas pelo grupo de pequenos agricultores diante dos mecanismos de governança.....	153
Figura G.1. Cenários de uso da terra para a área total estudada	154
Figura G.2. Cenários de uso da terra para o trecho dos municípios de Trairão e Itaituba	155
Figura G.3. Cenários de uso da terra para o trecho que compreende a rodovia Transgarimpeira em Itaituba.....	156
Figura G.4. Cenários de uso da terra para o trecho dos municípios de Colniza e Cláudia	157
Figura G.5. Cenários de uso da terra para o trecho dos municípios de Guarantã do Norte a Colíder	158

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Exemplo de formato de dado de entrada para análise baseada em Árvores de decisão	46
Tabela 4.2. Porcentagem de produtores entrevistados por grupo	48
Tabela 4.3. Preços agrícolas sugeridos pelos produtores	54
Tabela 4.4. Descrição das variáveis em cada contexto	58
Tabela 5.1. Descrição dos dados de entrada no modelo	74
Tabela 5.2. Resultado da análise de sensibilidade	88
Tabela 5.3. Quantificação das classes de uso da terra em Km ²	93
Tabela 5.4. Valores de Similaridade resultantes do processo de validação.....	93
Tabela 6.1. Políticas e mecanismos de governança destacados pelos produtores	104
Tabela 6.2. Parâmetros adotados para os cenários simulados para 2030.....	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIOVE	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
ACRINORTE	Associação dos Criadores do Norte do Mato Grosso
APRONOP	Associação dos Produtores Rurais de Novo Progresso
APROSOJA	Associação dos Produtores de Soja e Milho do Estado do Mato Grosso
COOPERGUARANTÃ	Cooperativa Mista Agropecuária de Garantã do Norte
DETER	Detecção de Desmatamento em Tempo Real
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Pará
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPAER	Empresa Mato-grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMAFLORA	O Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

PIC	Projetos Integrados de Colonização
PIN	Programa de Integração Nacional
PPCDAm	Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia
PRODES	Sistema de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal
SICAR	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Perguntas de pesquisa.....	4
1.2 Objetivos e hipótese.....	4
1.3 Organização do documento.....	5
2. MUDANÇAS E USO DA TERRA: ATORES, DECISÕES E MODELOS.....	7
2.1 Atores e decisões.....	7
2.2 Modelos.....	12
3. MÉTODO.....	18
3.1 Área de estudo.....	18
3.1.1 Aspectos biofísicos.....	19
3.1.2 Aspectos históricos.....	21
3.1.3 Aspectos políticos específicos da região.....	23
3.1.4 Padrões de mudança de uso da terra regional.....	28
3.2 Geração de dados primários – o experimento de campo.....	32
3.2.1 Trabalho de campo.....	33
3.2.2 Atores considerados.....	35
3.2.3 O questionário.....	37
3.2.4 Um jogo de decisão.....	37

3.2.4.1	Variáveis.....	38
3.2.4.2	Etapa 1 – estrutura do jogo.....	39
3.2.4.3	Etapa 2 – decisões e fatores de influência.....	42
3.2.4.4	Etapa 3 – decisões e políticas.....	43
4.	DECISÕES DE USO DA TERRA: EVIDÊNCIAS ORIUNDAS DO JOGO DE DECISÃO.....	45
4.1	Método de análise de dados com árvores de decisão.....	45
4.2	Resultados.....	47
4.2.1	Evidências oriundas dos questionários.....	47
4.2.2	Decisões reveladas.....	51
4.2.3	Valores sugeridos nos cenários.....	53
4.3	Árvores de decisão.....	54
4.4	Representação gráfica dos cenários e decisões.....	57
4.5	Discussão.....	61
4.6	Conclusão do capítulo.....	66
5.	MODELANDO DECISÕES DE USO DA TERRA COM REDES BAYESIANAS.....	68
5.1	O teorema de Bayes.....	69
5.2	Redes bayesianas e suas aplicações de análise de uso da terra.....	70
5.3	Método.....	72

5.3.1	Dados e pré processamento.....	72
5.3.2	Construção da rede bayesiana.....	76
5.3.3	Espacialização geográfica rede bayesiana.....	81
5.3.4	Calibração.....	82
5.3.5	Validação.....	82
5.3.5.1	Análise de sensibilidade.....	82
5.3.5.2	Quantificação de classes.....	83
5.3.5.3	Análise de similaridade.....	85
5.4	Resultados.....	86
5.4.1	Rede bayesiana.....	86
5.4.2	Sensitivity analysis.....	87
5.4.3	Quantificação de classes.....	89
5.4.4	Análise de similaridade.....	91
5.5	Discussão.....	97
5.6	Conclusão do capítulo.....	100
6.	EXPLORANDO CENÁRIOS DE USO DA TERRA E GOVERNANÇA.....	102
6.1	Método.....	103
6.1.1	Mecanismos de governança considerados.....	103
6.1.2	Inserção das componentes de governança no modelo.....	105

6.1.3 Cenários.....	106
6.2 Resultados.....	107
6.2.1 Aspectos sobre decisões e governança oriundos das entrevistas.....	107
6.2.2 Influência das políticas nas decisões.....	110
6.2.3 Rede bayesiana.....	115
6.2.4 Cenários.....	116
6.3 Discussão.....	121
6.4 Conclusão do capítulo.....	124
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
APÊNDICE A – CROQUI PRODUZIDO NA OCASIÃO DO JOGO DE DECISÃO.....	145
APÊNDICE B – GRÁFICOS GERADOS NA ETAPA DE VALIDAÇÃO.....	146
APÊNDICE C – MAPAS DE USO DA TERRA SIMULADOS.....	148
APÊNDICE D – MAPAS DE SIMILARIDADE.....	150
APÊNDICE E – MAPAS DE PROBABILIDADE POR CLASSE.....	151
APÊNDICE F – GRÁFICOS DE DECISÕES REAVALIADAS DIANTE DE MECANISMOS DE GOVERNANÇA.....	152
APÊNDICE G – CENÁRIOS DE USO DA TERRA.....	154

1. INTRODUÇÃO

A produção de alimento e energia necessária para prover a crescente demanda da população mundial é considerada um dos maiores desafios do século XXI e tende a se agravar se as projeções de crescimento populacional e as mudanças estimadas para os padrões de consumo se concretizarem (CHARLES et al., 2014; UNITED NATIONS, 2017). Nesse contexto, a pressão antrópica exercida sobre os recursos naturais, sobretudo sobre as áreas de vegetação nativa, podem alcançar níveis alarmantes e irrecuperáveis de perda de funções ecossistêmicas e de biodiversidade (VAN NES et al., 2016). Os casos mais críticos podem ocorrer nos trópicos, onde as mudanças de uso da terra têm sido mais representativas e cujo impacto pode alcançar níveis planetários, dada a importância das florestas tropicais para o equilíbrio climático do planeta (ARMENTERAS et al., 2017; CARRASCO et al., 2017).

Na Amazônia brasileira, as mudanças de uso da terra mais expressivas estão associadas à supressão da floresta para uso agropecuário (LAURANCE et al., 2014). Historicamente, os processos de ocupação e expansão da fronteira na região estão associados a programas e incentivos governamentais de incentivo à ocupação, práticas agrícolas e investimento em infraestrutura (BECKER, 2010). Recentemente, este processo tem recebido a contribuição do agronegócio, caracterizando-se por sua associação ao mercado internacional de *commodities*, alta demanda de capital e tecnologia e pela capacidade de influenciar arranjos institucionais de diversa escalas (SILVA, 2015). Essa modernização da fronteira agrícola tem exigido a atualização de estratégias políticas de conservação da natureza e a adoção de mecanismos sofisticados, capazes de reverter as tendências históricas de perda florestal, conciliando a produção agrícola e a conservação ambiental.

Nesse contexto, o Brasil destaca-se como uma das principais potências agrícolas mundiais, ocupando a segunda posição no ranking internacional de exportações de grãos (MDIC, 2018) e dispondo das mais avançadas tecnologias de agricultura tropical do planeta (HOPEWELL, 2016). Ao mesmo tempo, o país também é considerado uma potência ambiental, abrigando mais de 60% de área da maior floresta tropical contínua do planeta e importantes zonas de hotspots de biodiversidade (COLOMBO; JOLY, 2010), o que exige especial atenção ao avanço da fronteira agrícola, principalmente em zonas de grande importância ou fragilidade ambiental.

Atualmente, a principal *commodity* agrícola brasileira é a soja, cuja área plantada soma aproximadamente 34 milhões de hectares, o equivalente a aproximadamente 46% de toda a área plantada por culturas temporárias no Brasil (IBGE, 2017). Estima-se que a soja foi a cultura agrícola que mais se expandiu nas três últimas décadas no país. Mais de 50% dessa expansão ocorreu na região Centro-oeste, em especial, no estado do Mato Grosso, líder na produção nacional de soja, com cerca de 27% de toda produção brasileira (IBGE, 2017). Também é a partir do Mato Grosso que se expande uma das mais representativas zonas de fronteira agrícola no país, partindo do bioma cerrado em direção à Amazônia, seguindo o eixo da rodovia BR-163.

A pressão sobre essa região aumentou a partir do final da década de 90, quando a finalização do asfaltamento da rodovia BR-163 foi incluída nas metas do Programa Avança Brasil, com o objetivo de facilitar o transporte de insumos e produtos agrícolas na região. A pavimentação permitiria a exportação de *commodities* agrícolas pelo “norte”, garantindo menor custo e menor tempo com transporte dos produtos agrícolas em comparação com os portos de Santos e Paranaguá, no sudeste do país (TORRES, 2005). No entanto, o projeto desencadeou a intensificação da especulação de terras, o aumento da densidade demográfica e,

consequentemente, da pressão do desflorestamento na região (CASTRO, 2007; FEARNSSIDE, 2007).

Com o objetivo de minimizar os impactos oriundos do asfaltamento, vários mecanismos de governança foram planejados para a região, como a criação de um mosaico de Unidades de Conservação, que deveria servir como uma barreira “física” ao desflorestamento; o desenho de novas modalidades de Projetos de Assentamentos, visando estimular a produção sustentável; e a criação do primeiro Distrito Florestal Sustentável do Brasil (MMA, 2016), que consistia em uma região que teria prioridade para implementação das ações de incentivo às práticas sustentáveis. Apesar dessas iniciativas, a região continua a se destacar por suas elevadas taxas de desflorestamento, sobretudo no interior das áreas protegidas.

A importância da região na dinâmica de exportação de *commodities* agrícolas e para a conservação da natureza contribuiu para que um grande número de trabalhos fossem desenvolvidos na região, com os mais diversos focos e abordagens, especialmente com análises de aspectos socioeconômicos (BENATTI et al., 2009; FEARNSSIDE, 2007; TORRES, 2005) e dos padrões espaciais de mudanças no uso da terra (COY; KLINGLER, 2014; GARRETT et al., 2013; GOLLNOW et al., 2018; GOLLNOW; LAKES, 2014). No entanto, a compreensão dos aspectos decisórios dos atores locais e de suas percepções às mudanças nos cenários políticos e econômicos ainda é limitada. Nesse contexto, apesar dos avanços nos métodos de análise e modelagem de dinâmicas de uso da terra, sobretudo com a capacidade de representação de agentes, a representação e simulação de aspectos comportamentais com consequências nos padrões de mudanças no uso da terra ainda é um grande desafio. Diante disso, esta pesquisa busca representar o processo de tomada de decisão sobre uso da terra em um modelo quantitativo de resposta espacialmente explícita, levando em consideração decisões de atores locais diante de incentivos políticos e de mercado.

1.1. Perguntas de pesquisa

- a) Como incentivos de mercado e de governança podem afetar decisões de uso da terra?
- b) Como essas decisões influenciam os padrões de mudanças de uso da terra?
- c) Quais combinações de mecanismos de governança e de variáveis de mercado podem resultar em decisões de uso da terra de maior ou menor impacto na conservação?
- d) Os mecanismos de governança planejados para região de estudo estimulam decisões pela produção agrícola sustentável e conservação da natureza?

1.2. Objetivos e hipótese

Explorar um método de simulação de uso da terra baseado no processo de tomada de decisão de atores locais, que seja sensível a incentivos de políticos e de mercado e de resposta espacialmente explícita.

Assim, esta tese explora duas hipóteses:

- a) Diferentes grupos de atores locais respondem de forma diversa aos mesmos incentivos políticos e de mercado, o que exige ações direcionadas a diferentes grupos e cadeias produtivas.
- b) A abordagem de Redes bayesianas pode representar um avanço na simulação de uso da terra, devido sua capacidade de integrar uma

diversidade de dados e relações fundamentais para a representação de dinâmicas de uso da terra específicas.

Objetivos específicos

- a) Adaptar um experimento para aplicação em campo, que permita a interação com atores locais e estimule a revelação de decisões de uso da terra.
- b) Explorar possíveis combinações entre variáveis de mercado e de instrumentos de governança, capazes de contribuir para a geração de cenários de uso da terra.
- c) Adaptar um método de simulação espacialmente explícito que permita a representação dos aspectos decisórios obtidos em campo.
- d) Simular diferentes tendências de mudanças de uso da terra na região a partir de alterações nos contextos econômicos e políticos.

1.3. Organização do documento

No **Capítulo 1** é feita uma apresentação geral da problemática envolvida no trabalho, constando a *introdução* geral do trabalho, apresentação das *hipóteses*, *perguntas de pesquisa*, *objetivos* e a estrutura do documento.

No **Capítulo 2** são apresentados aspectos do processo de tomada de decisão sobre o uso da terra obtidos na literatura de estudos desenvolvidos na Amazônia brasileira. O objetivo do capítulo é apontar aspectos importantes do processo de tomada de decisão de uso da terra de atores locais e como diferentes grupos de pesquisa podem se basear em diferentes teorias e métodos para abordar aspectos da dinâmica de uso da terra que podem ser difícil representação em

modelos de simulação espacialmente explícitos. Em sequência, também são apresentados alguns exemplos de estudos e modelos de simulação de uso da terra com aplicação na Amazônia.

O **Capítulo 3** é dedicado à descrição da área de estudo, dando destaque ao seu histórico, importância para o setor do agronegócio e para conservação da natureza, bem como as tendências nos padrões de mudança de uso da terra na região. Nesse capítulo, também são descritos a base conceitual, as etapas de desenvolvimento e aplicação do experimento aplicado em campo que teve como objetivo a obtenção de decisões sobre o uso da terra.

No **Capítulo 4**, são apresentados dois métodos de análise dos resultados oriundos do experimento para revelação de uso da terra e são discutidas as decisões resultantes dessa etapa do trabalho.

No **Capítulo 5**, as decisões resultantes da etapa anterior são inseridas em uma Rede Bayesiana, juntamente com conjuntos de dados referentes a aspectos de acessibilidade, aptidão agrícola e condição fundiária. No capítulo é apresentado em detalhe as etapas de construção da Rede Bayesiana e os métodos adotados para calibração e validação. Os resultados desse processo também são apresentados e discutidos nesse capítulo.

No **Capítulo 6**, é descrito o método de inserção das variáveis de governança no modelo de uso da terra e a geração de cenários o ano de 2030. No capítulo, os resultados dessa etapa também são apresentados e debatidos.

No **Capítulo 7** é apresentada conclusão final do trabalho.

2. MUDANÇAS DE USO DA TERRA: ATORES, DECISÕES E MODELOS

2.1. Atores e decisões

Mudanças de uso da terra são conceituadas, basicamente, como as alterações executadas na superfície terrestre pela ação humana. Embora, aparentemente simples, a complexidade desse conceito reside na busca pela compreensão das causas e consequências dessas alterações (GEIST; LAMBIN, 2001), o que tem motivado o desenvolvimento de uma miríade de pesquisas, nas mais diversas partes do mundo. Diferentes abordagens têm sido adotadas com objetivo de responder a perguntas específicas, testar diferentes teorias e hipóteses, ou ainda, identificar tendências que envolvam ou justifiquem dinâmicas particulares de uso da terra. Assim, o objetivo de uma análise de uso da terra é o que determina a escolha do método e o nível de detalhamento dos resultados (BRIASSOULIS, 2000; BRONDÍZIO, 2014).

Neste capítulo, aspectos do processo de tomada de decisão sobre o uso da terra de atores locais são destacados, pautando-se em estudos de caso e análises locais e regionais realizadas na Amazônia. O objetivo é demonstrar como a componente humana é peça fundamental no processo de mudança de uso da terra, porém, aspectos comportamentais e lógicas de tomada de decisão ainda são de difícil representação em modelos espacialmente explícitos. Por essa razão, neste capítulo também são destacados exemplos dos principais modelos de uso da terra experimentados na região amazônica.

Um dos aspectos primordiais frequentemente salientados em análises de uso da terra em escala local e sub-regional é o reconhecimento da diversidade de atores que contribuem direta ou indiretamente para que uma dinâmica de uso da terra se desenvolva. Brondízio et al. (2013) ao realizarem uma análise comparativa dos padrões de desflorestamento executados por pequenos produtores em diferentes

municípios amazônicos, expõem a complexidade envolvida na própria conceituação desse grupo de atores. Para exemplificar essa diversidade, os autores destacam a categoria de “pequeno produtor”, cuja denominação poderia representar grupos de atores completamente distintos, dependendo da região estudada, do histórico do grupo ou do entendimento do interlocutor.

Além disso, cada grupo de ator pode contribuir de maneira diversa e até complementar em uma dinâmica de mudança de uso da terra. Análises específicas sobre padrões de mudança implementados por diferentes grupos de atores podem ser encontradas em Walker et al.(2000) que analisaram padrões de mudança de uso da terra executadas por grandes e pequenos produtores rurais na rodovia Transamazônica, no Pará; em Godar et al. (2014), que cruzaram dados espaciais de propriedades e desflorestamento para toda a Amazônia, buscando associações entre os tipos de atores e o tamanho e padrão de área desflorestada; em Pacheco (2012), que associou mudanças comportamentais de produtores de acordo com o tipo de fronteira agrícola na qual se localizavam; e ainda, em Brown et al. (2016), que analisaram a correlação entre padrão de desflorestamento e o tipo de ocupação de terras encabeçadas por movimentos sociais e diversas regiões da Amazônia.

O contraste nos padrões de mudanças de uso da terra encabeçada por grupos diversos estaria associado às estratégias particulares de tomada de decisão de cada grupo. Sobre esse aspecto, existe uma vasta literatura, com estudos fundamentados nas mais variadas teorias para justificar possíveis estratégias de mudança de uso da terra adotadas em nível local. Walker et al., (2000), por exemplo, pautaram-se no conceito econômico de *máxima utilidade* para analisar decisões de uso da terra tomadas por grandes e pequenos pecuaristas em área de fronteira agrícola na Amazônia. Para isso, desenvolveram três modelos onde variáveis de custo de produção, receitas e socioeconomia foram adotadas no intuito de encontrar uma equação que melhor representasse as estratégias de

mudanças de uso da terra adotadas pelos pecuaristas. Para os autores, o potencial de executar mudanças no uso na terra seria resultado da relação entre o tamanho da propriedade, a disponibilidade de terra para expansão, o capital para investimento e a força de trabalho (em especial a familiar). Dentre os principais achados da pesquisa, está a correlação entre o padrão e a extensão das mudanças de uso da terra às condições socioeconômicas específicas de pequenos e grandes pecuaristas.

O conceito de *ciclo de Vida* de Chayanov também é frequentemente adotado para embasar análises de dinâmicas de uso da terra na região. De acordo com a teoria Chayanoviana, a dinâmica de famílias camponesas estaria voltada para a subsistência, sendo absolutamente dependente da força de trabalho familiar. Assim, aspectos da estrutura da família, como o número de integrantes, faixa etária, número de dependentes diretos e de familiares com força de trabalho, seriam determinantes no potencial produtivo da propriedade e, portanto, na capacidade dessa família realizar mudanças no uso da terra.

Este conceito foi adotado por Perz e Walker (2002) em análise de ciclos agrícolas e dinâmica da vegetação secundária no município de Uruará, no Pará. Os autores encontraram estreita associação entre a idade da vegetação, a prática de culturas agrícolas específicas e a faixa etária dos proprietários de terra. Juntos, esses aspectos seriam determinantes na dinâmica local da vegetação secundária e nos padrões de uso da terra.

Caldas et al. (2007) integraram o conceito de Chayanov a aspectos espaciais derivados da teoria de *Von Thünen* para analisar o impacto da estrutura familiar e de contextos econômicos nas decisões de uso da terra feitas por agricultores em áreas de fronteiras agrícolas na Amazônia. Os autores executaram rodadas de análises de regressão em nível de propriedades e constataram que os aspectos locais se sobressaíam aos relacionados aos da estrutura familiar,

contradizendo modelos anteriores baseados unicamente no conceito chayanoviano para explica decisões de uso da terra. Nesse caso, um fator determinante na tomada de decisão dos produtores seria o efeito do preço da terra, resultante da alta especulação em zonas com localização privilegiada em relação a mercados.

Vosti e Witcover (1996) analisaram a tomada de decisão de produtores rurais que adotavam o sistema agrícola de “corte e queima”. Os autores traçaram um sistema conceitual onde o ponto de partida da decisão do produtor baseia-se prioritariamente no uso dos recursos disponíveis para prover o sustento familiar. Essa decisão se basearia nas potencialidades agrícolas naturais, no capital humano e no capital financeiro disponíveis para implementar mudanças. Esse sistema culminaria nas consequências dessas decisões sobre a disponibilidade de recursos naturais e nos capitais humano e financeiro resultantes para um próximo ciclo agrícola. Além das variáveis inseridas no sistema conceitual, outros fatores também foram destacados como forte influenciadores nas decisões de uso da terra, como possíveis perdas na produção, mudanças nos preços agrícolas, novas condições de mercado e políticas públicas, especialmente as de apoio ao desenvolvimento agrícola.

Em nível regional, Margulis (2003) analisou as possíveis causas do desflorestamento na Amazônia, partindo do pressuposto de que existe uma racionalidade econômica que motiva as decisões dos atores que promovem mudanças no uso da terra. O autor destaca o papel crucial da pecuária nesse processo, refutando o discurso de insustentabilidade econômica da atividade na Amazônia e o papel fundamental das políticas públicas no combate ao desflorestamento na região. No entanto, o autor salienta a carência de mecanismos políticos e econômicos alternativos, que aliados ao aumento da intensificação das ações de comando e controle, não só estimularia o

cumprimento das normas legais, como também a adesão a mecanismos alternativos de conservação.

Diversos aspectos importantes para análises de uso da terra podem ser identificados a partir desses trabalhos: como heterogeneidade de atores, a diversidade de teorias e métodos para analisar estratégias de mudanças de uso da terra e a importância dos aspectos de mercado e de políticas públicas no processo de tomada de decisão. Isso demonstra que não existe uma fórmula ou teoria única ou exata para analisar dinâmicas de uso da terra, mas que a compreensão dessas mudanças está em constante evolução, a partir da aplicação de novas abordagens, geração de novos métodos e criação de novas ferramentas, em especial, de modelagem.

Nesta tese, a análise de decisões de uso da terra visou o melhor entendimento de como produtores rurais tomam ou reavaliam decisões de uso da terra diante de diferentes contextos econômicos e políticos. Para isso, se buscou fundamento na teoria de *Law enforcement* aplicada na área ambiental. De acordo com essa teoria, uma decisão resulta da relação entre o benefício e os custos de uma provável punição inerentes a essa decisão. Assim, para que uma decisão infracional seja adotada, é necessário que seus benefícios sejam superiores ao risco de ser punido e ao custo da punição (BECKER, 1968; GAROUPA, 1997).

A teoria de *Law enforcement* na área ambiental é geralmente adotada em análises de decisões sobre o cumprimento de leis ambientais (ARIAS, 2015; KEANE et al., 2008). Uma aplicação da teoria para a Amazônia brasileira pode ser vista em Börner et al., (2014), em estudo dos custos e benefícios da aplicação das leis ambientais na região. Os autores partem do pressuposto de que um proprietário de terra toma a decisão pelo desflorestamento baseando-se na relação entre o retorno financeiro esperado (lucro obtido com o desflorestamento) e a possibilidade de ser fiscalizado e ter que arcar com os custos da punição (multa,

embargo, apreensão de bens e etc.). Com base, nas análises econômicas e espacialmente explícitas, os autores demonstraram que as operações de fiscalização ambiental exercem um efeito positivo de dissuasão de escolhas pelo desflorestamento, no entanto, também elas implicam em altos custos de oportunidade para os proprietários de terra. Nesse sentido, mecanismos alternativos como pagamento por ações de conservação, aliado aos mecanismos legais já existentes, poderiam ter maiores chances de promover a conservação na Amazônia.

Neste trabalho a teoria de *Law enforcement* foi adaptada à análise da dinâmica de uso da terra em escala sub-regional. Mesmo considerando que a teoria se volte para análise de comportamentos infracionais, mas que nem toda mudança no uso da terra consiste em uma infração. A adoção desta teoria neste trabalho tem como objetivo contribuir para o melhor entendimento de até que ponto os mecanismos políticos de combate ao desflorestamento têm a capacidade de influenciar mudanças de uso da terra, diante de diferentes incentivos de mercado. No mesmo sentido, busca-se entender como a ausência desses mecanismos poderia incentivar infrações ambientais. Para isso, além de pesquisas de campo, também foram adotadas ferramentas de modelagem no intuito de representar o processo de tomada de decisão sobre uso da terra em um modelo espacialmente explícito.

2.2. Modelos

Atualmente, existe uma variedade de modelos e plataformas de simulação de mudanças no uso da terra, baseadas nas mais diversas abordagens e com a capacidade de geração de cenários futuros e análises de impacto (FU et al., 2015; LAPOLA et al., 2014; NEWBOLD et al., 2015). No entanto, é crescente a demanda pela representação da componente humana, especialmente das estratégias de tomada de decisão e aspectos comportamentais que conduzem as mudanças no uso da terra (VERBURG et al., 2016).

O nível de representação de agentes e das variáveis em um modelo depende de fatores como escala espacial e escala temporal, o tipo de interação entre variáveis e o tipo de elementos que influenciam essas mudanças (VERBURG et al., 2004). Além de disso, dependendo do problema ou do aspecto do uso da terra a ser analisado, o método de análise e as variáveis consideradas podem variar (BRIASSOULIS, 2000). Geralmente, os modelos são classificados em dois grupos: *quantitativos* - quando se baseiam fundamentalmente em dados numéricos e espaciais para explicar dinâmicas; ou *qualitativos* - quando narrativas qualitativas são traduzidas para um modelo matemático (MALLAMPALLI et al., 2016).

Dentre os maiores benefícios fornecidos pelo desenvolvimento de modelos está a capacidade de geração de cenários, os quais podem ser definidos como os possíveis estados de um sistema em um tempo futuro, considerando o comportamento de suas variáveis e fatores indiretos capazes de promover mudanças no sistema (SOARES-FILHO, 1998). Cenários ainda podem ser conceituados como futuros possíveis para uma ou mais componente de um sistema representado em um modelo (IPBES, 2016). O tipo de predição apresentada nos cenários é classificada por Briassoulis (2000) como predições de *extrapolações* – quando baseiam-se em padrões históricos de uso da terra para reproduzir sua tendência futura; e predições *incondicionais* – que são pautadas em cenários hipotéticos.

Para a Amazônia, modelos de diferentes tipos e escalas têm sido aplicados. Dentre os primeiros modelos de uso da terra executados para a região, destaca-se o de Laurance et al, (2001), que embora tenha gerado um cenário “otimista” e outro “não-otimista”, em ambos cenários, um nível de alarmante de desflorestamento seria alcançado em 2020, quando mais de 50% da floresta Amazônia teria sido perdida. Isso porque além dos autores considerarem um aumento contínuo nas taxas de desflorestamento na região, a principal diferença entre ambos os cenários é que no “otimista”, a probabilidade de desflorestamento

em torno de áreas protegidas era menor do que no cenário “não-otimista”, o que não implicava em grandes diferenças no cálculo total de áreas desflorestadas nos cenários.

Soares-Filho et al. (2006) simularam cenários de desflorestamento até o ano de 2050, considerando toda a Amazônia internacional. Os autores usaram o modelo *SimAmazônia* (<https://csr.ufmg.br/simamazonia>) para gerar dois tipos de cenários: o “business as usual”, que considera que o padrão de desflorestamento deveria se repetir até o período final simulado; e o cenário de governança, que baseava-se no cumprimento da legislação ambiental, considerando a conservação das áreas públicas e privadas legalmente. O modelo é baseado no método de autômatos celulares e o padrão de desflorestamento simulado segue as tendências históricas de concentração no entorno das rodovias, rios e centros urbanos.

Aguiar (2006), adotou modelos de regressão, no intuito de identificar heterogeneidades intrarregionais na Amazônia a partir da adoção de um vasto conjunto de dados (40 variáveis) e simulando cenários para o ano de 2020. Dentre os principais resultados do trabalho está a potencial influência das conexões de mercados nacionais nos padrões espaciais de expansão das fronteiras na Amazônia. Além disso, os impactos seriam diferenciados de acordo o efeito que as políticas públicas exercem nas diversas regiões da Amazônia. Modelos para a Amazônia também foram desenvolvidos por Lapola et al. (2011), que relacionou a produção agropecuária e suas demandas com o processo de desflorestamento, salientando a fragilidade dessas atividades diante das mudanças no clima e a urgência de um plano integrado e multidisciplinar.

Dalla-Nora (2014) demonstrou como a crescente demanda por *commodities* agrícolas e o estado das políticas de uso da terra na Amazônia poderiam afetar as taxas de desmatamento em outros biomas brasileiros, demandando políticas mais amplas de conservação e melhor eficiência no uso da terra. O autor também

realizou uma análise de quatro dos principais modelos aplicados na Amazônia (AGUIAR, 2006; LAPOLA et al., 2010; LAURANCE et al., 2001; SOARES FILHO et al., 2006), comparando as previsões simuladas com as taxas reais de desflorestamento fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O autor comprovou que além dos modelos analisados apresentarem resultados discrepantes entre si e padrões de desflorestamento simulados completamente distintos, nenhum deles foi capaz de acompanhar os padrões e flutuações das reais taxas de desflorestamento. Segundo o autor, um dos principais entraves encontrados nesses modelos estaria no fato de se fundamentarem preponderantemente no método de *demand* (magnitude de desflorestamento) e *potencial* (alocação- lugar de ocorrência do desflorestamento) históricos, não considerando os contextos econômico, político e social nos quais as taxas de desflorestamento foram geradas.

Aldrich et al. (2006) também faz uma crítica às simulações de desflorestamento por pautarem-se mais nos elementos que motivam mudanças de uso da terra e não na distribuição espacial dos atores na paisagem. Ou seja, primam a quantificação de onde o desmatamento está ocorrendo, mas não investigam as escolhas dos atores que promovem esse processo.

De todo modo, cabe considerar que além da extensão continental da região amazônica e a compreensão de sua heterogeneidade histórica, cultural e natural, a representação da diversidade de atores e dinâmicas socioeconômicas e políticas que compõem a região é um imenso desafio, não livre de generalizações e ressalvas. Em contrapartida, simulações em escala local têm demonstrado excelente potencial em simular dinâmicas de uso da terra detalhadas, baseadas em estratégias e participação de atores locais (GOMES, 2008; PAK, 2008). Entretanto, também corre-se o risco de incidir no problema de representação de dinâmicas muito específicas que não permitem extrapolações para análises regionais ou replicações do modelo em outras regiões.

O diálogo entre esses dois níveis de análise e a construção de modelo de uso da terra regional, poderia fornecer informações importantes, pautadas nas peculiaridades dos atores locais e na dinâmica regional, para o planejamento e análises de políticas públicas e gestão territorial. No entanto, a representação uma dinâmica de uso da terra considerando a diversidade de atores e processos decisórios ainda é um grande desafio na área de modelagem de uso da terra.

A tradução de decisões, conhecimento e perspectivas de diferentes grupos de atores para um modelo matemático pode ser classificado como “método de tradução”, já sendo adotado em uma variedade de modelos de uso da terra, como os baseados em agentes (CASTELLA et al., 2005), multiagentes (RALHA et al., 2013), jogos de interpretação e decisão (GOURMELON et al., 2013; TAN et al., 2015), Redes bayesianas (CELIO et al., 2014; KLEEMANN et al., 2017), dentre outros. Basicamente esses modelos parametrizam narrativas qualitativas de diferentes atores e as insere em um modelo quantitativo, onde devem ser integradas a outras categorias de dados (MALLAMPALLI et al., 2016). Esses métodos podem apresentar vantagens e desvantagens associadas a sua adequação ao objetivo do trabalho.

Atualmente, uma existe uma gama de modelos, teorias e métodos disponíveis para análise de uso da terra, o que demonstra que não existe um método ou modelo “ótimo” ou “o melhor”, mas que alguns modelos podem ser mais adequados para analisar determinados problemas ou se trabalhar em escalas específicas. Além disso, devido a disponibilidade de ferramentas livres de programação, vários grupos de pesquisa têm optado por plataformas computacionais alternativas para simular dinâmicas de uso da terra, não se limitando ao uso de plataformas específicas (MOULDS et al., 2015).

Neste trabalho adotou-se a abordagem de Redes Bayesianas (RB) adaptada à modelagem de uso da terra (CELIO et al., 2014; MARCOT; PENMAN, 2019). RBs

vêm sendo amplamente adotadas em estudos de gestão participativa de recursos naturais (BARTON et al., 2008), serviços ecossistêmicos (PASCUAL et al., 2016), processos de tomada de decisão (PANG; SUN, 2014) e uso da terra (MARCOT et al., 2006), demonstrando grande capacidade em integrar informações primárias e qualitativas. Novos métodos de espacialização dessas redes também têm evidenciado a grande capacidade de RBs em representar processos decisórios de uso da terra, em modelos matemáticos, permitindo a geração de simulações e cenários espacialmente explícitos (CELIO et al., 2014; MASANTE, 2017).

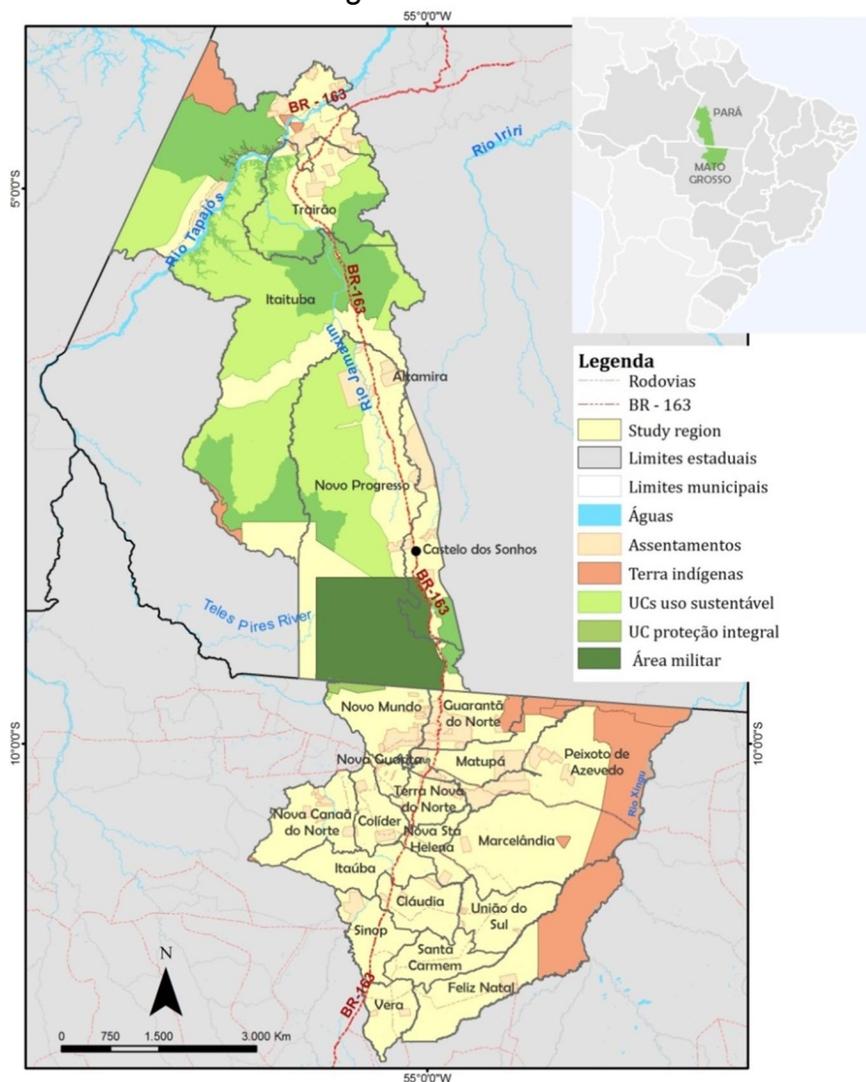
Neste trabalho, as decisões de uso da terra, os grupos de atores focais e suas variáveis de influência foram traduzidas para uma Rede bayesiana e posteriormente espacializadas. As etapas de calibração e validação são semelhantes às já adotadas em modelos quantitativos de uso da terra, pautadas em geoestatística para atingir parâmetros mínimos de similaridade entre mapas de paisagem observadas e os mapas simulados. No entanto, um diferencial do método desenvolvido está na utilização dos dados históricos de mercado e de mecanismos políticos para calibrar esse modelo, pautando-se em dados econômicos e de governança históricos para testar sua capacidade de geração de cenários para o futuro. As etapas metodológicas e seus resultados são apresentados nos capítulos seguintes.

3. MÉTODO

3.1. Área de estudo

A área de estudo compreende 20 municípios e um trecho do município de Altamira, referente à localidade de Castelo dos Sonhos, distribuídos entre os estados do Pará e Mato Grosso (Figura 3.1). Esses municípios compõem três microrregiões geográficas localizadas no entorno da rodovia BR-163: microrregiões de Itaituba, Colíder e Sinop.

Figura 3.1 Área de estudo.



Fonte: Produção da autora.

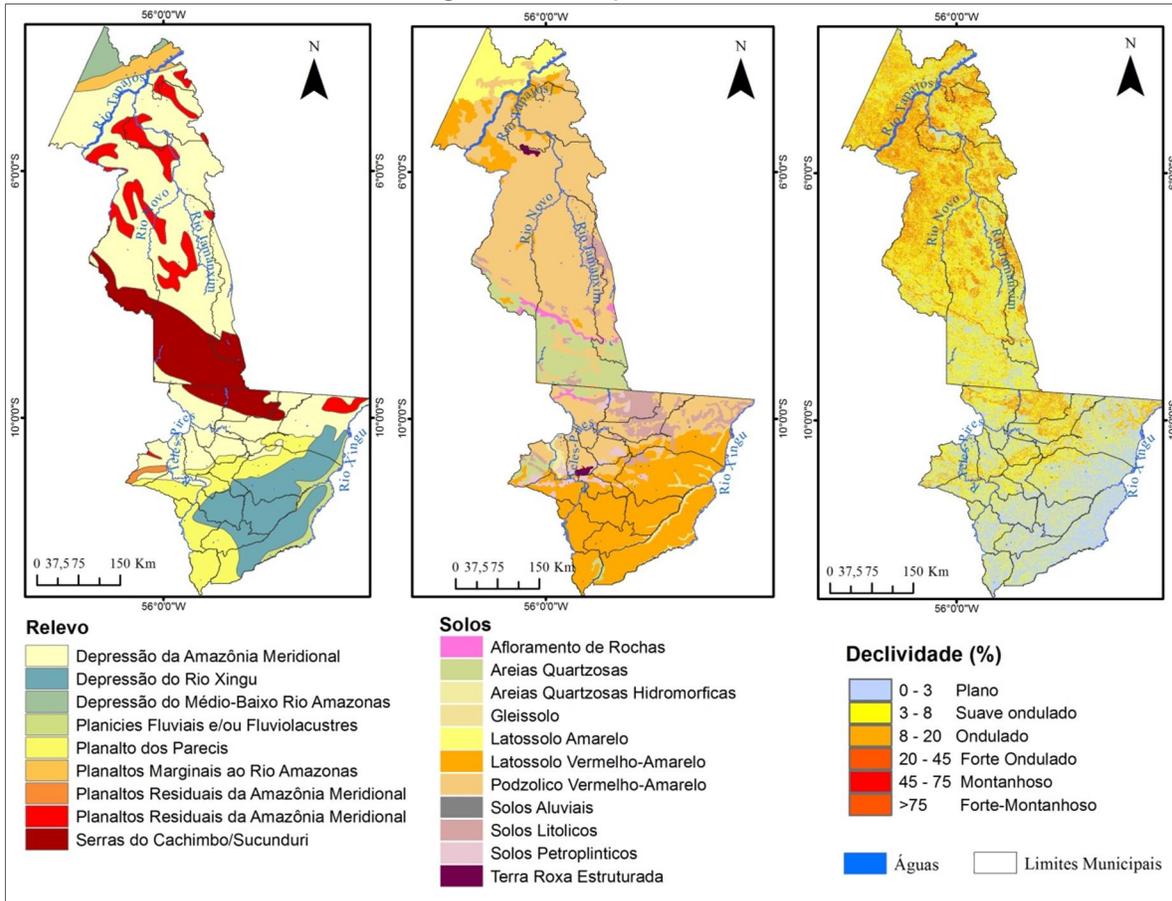
Todos os municípios estudados estão inseridos no bioma Amazônia e somam uma área de aproximadamente 211.540,750 km². A estrutura fundiária da região é diversificada, formada por 85 Projetos de Assentamentos (PAs), 15 Terras indígenas (TIs) e 17 Unidades de Conservação (UCs), sendo 12 de uso sustentável e cinco de proteção integral (INCRA, 2017).

3.1.1. Aspectos biofísicos

A área de estudo apresenta uma rede hidrográfica bastante densa, tendo como seus principais rios o Tapajós, o Teles-Pires e o Jamanxim. Para esses rios estão previstos projetos de infraestrutura para melhoramento do setor elétrico e para a otimização do processo de exportação de bens agrícolas regionais. Sua vegetação predominante é a floresta ombrófila densa, concentrada em maior parte no lado paraense da área de estudo. Em menor área, estão as manchas de vegetação característica de cerrado, como as campinaranas e florestas de transição, concentradas especialmente no estado do Mato Grosso (SANTOS, 2010).

Partindo do sul em direção ao norte, os municípios da região central do Mato Grosso estão localizados sobre o planalto da chapada dos Parecis, onde o relevo é predominantemente plano e com pequenas variações para o suave ondulado (Figura 2), contribuindo para que a região seja considerada ideal para a agricultura mecanizada (PEREIRA; NETO, 2004). Do norte do Mato Grosso até às margens do rio Tapajós, na localidade de Miritituba (norte de Itaituba), predomina o relevo característico da depressão da América meridional, intercalada na divisa entre o Pará e o Mato Grosso pela Serra do Cachimbo (Figura 3.2). No lado paraense, a Depressão da América meridional apresenta várias ocorrências de Planaltos, o que influencia diretamente a declividade da região, que se torna preponderantemente ondulada a partir do norte do município de Novo Progresso (SANTOS, 2010).

Figura 3.2. Aspectos biofísicos.



Fonte: Produção da autora.

No geral, os solos da região possuem baixo nível de fertilidade natural, devido seu alto teor de acidez. O que chegou a ser considerado um fator limitante às primeiras tentativas de produção agrícola direcionada para a região. No entanto, essa barreira natural foi ultrapassada com o acesso à técnicas e recursos para tratamento do solo, correção de acidez e fertilização, fazendo com que a região apresente um dos melhores índices de produtividade agrícola do país (FERNÁNDEZ, 2007; IBGE, 2017). Solos com baixa aptidão agrícola estão distribuídos em menor proporção e em pequenas manchas pela região, em especial na Serra do Cachimbo, onde predominam solos arenosos com alto potencial erosivo (SANTOS, 2010).

3.1.2. Aspectos históricos

O histórico da região e sua atual dinâmica socioeconômica estão diretamente relacionados à intervenção do Estado. Sua ocupação foi iniciada durante a década de 70, como componente do Plano de Integração Nacional (PIN) do Governo Federal. No PIN, foi considerada como ação prioritária a construção de dois grandes eixos rodoviários na Amazônia: a Transamazônica (iniciada em 1969 e inaugurada em 1974) e a Cuiabá-Santarém (iniciada em 1971 inaugurada em 1976), cujo objetivo era viabilizar a implantação dos Projetos Integrados de Colonização (PIC). Também prevendo a implantação dos PICs, em 1971, foi assinado decreto 1.164/71 (BRASIL, 1971) que federalizou todas as terras na faixa de 100 km para cada lado das rodovias já existentes, em construção ou planejadas na Amazônia. O gerenciamento dessas terras passou a ser realizado pelo Instituto Nacional de Reforma Agrária (INCRA), também criado em 1970 para ordenar a distribuição de terras no país (FERNÁNDEZ, 2007).

Com o estímulo ao avanço da fronteira agrícola para as regiões Norte e Centro-oeste do Brasil, o Governo Federal não só abria possibilidade de expandir a produção agrícola, mas também diminuir tensões e conflitos agrários em regiões agrícolas mais antigas, em especial na região Sul (CUNHA, 2006). Os conflitos agrários que se alastravam pelo sul do Brasil também resultavam de uma série de medidas governamentais para o setor agrícola na região, que culminaram no desincentivo à produção de café e estimulou o investimento no cultivo de soja, contribuindo para a ascensão de um modelo de produção baseado na concentração de terras e no alto investimento em tecnologia, gerando um contingente de agricultores sem terra e reserva de força de trabalho (PELUSO, 1988).

O Mato Grosso foi o estado que mais recebeu projetos privados de colonização na Amazônia, sendo esta uma peculiaridade de sua ocupação. As empresas

colonizadoras foram fundamentais na construção do perfil agrícola mato-grossense, seguindo uma lógica de seleção de colonos, onde a experiência na agricultura e condição financeira razoável eram priorizados nas negociações de terra (FERNÁNDEZ, 2007). Nesses quesitos, os pequenos e médios produtores sulistas, que enfrentavam os efeitos da modernização no campo, se encaixavam perfeitamente, tornando-se os colonos alvo das empresas de colonização.

Esses projetos foram determinantes para a criação de vários municípios da região central do Mato Grosso. A área onde atualmente se localizam os municípios de Vera, Sinop, Santa Carmen e Cláudia, por exemplo, resulta dos projetos de colonização para a Gleba Celeste, os quais foram liderados pelo Grupo Sinop S.A. (Sociedade Imobiliária do Nordeste do Paraná), considerado um dos grupos mais influentes no setor de colonização nas décadas de 70 e 80. Exemplos semelhantes podem ser vistos em outros municípios que integram a área de estudo, como Itaúba, colonizada pelos irmãos Bedim; Marcelândia, planejada pela Colonizadora Maiká; Matupá, planejada pela Colonizadora Agropecuária do Cachimbo; e Colíder, criada pela Colonizadora Líder (FERNÁNDEZ, 2007; PELUSO, 1988).

Mais ao norte, os municípios de Nova Santa Helena, Nova Guarita, Guarantã do Norte e Trairão (esse último no estado do Pará), originam-se no mesmo período, com o diferencial de seus projetos de colonização serem planejados e coordenados preponderantemente pelo Governo Federal, por intermédio do INCRA. O perfil dos colonos para esses projetos era diferente do citado anteriormente. O objetivo do governo era assentar os *Brasiguaios*, que eram produtores brasileiros que haviam sido atraídos pelo governo paraguaio para desenvolver a agricultura no país, mas que solicitavam apoio do governo brasileiro para voltar ao Brasil; os pequenos produtores sem terra do sul do país (geralmente descapitalizados); os pequenos produtores sulistas que foram remanejados para o Centro-oeste devido à construção de hidrelétricas; e migrante

atraídos para a região pela possibilidade de conseguir terra e trabalho (CUNHA, 2006). O diferencial de Trairão nesse contexto, é que grande parte dos colonos era de origem nordestina, onde também se vivenciava conflitos agrários (TORRES, 2005; TRAIRÃO, 2019).

A economia dos municípios foi se diversificando no decorrer do tempo. Após várias tentativas sem sucesso com culturas agrícolas diversas, as atividades econômicas foram se adequando aos recursos naturais disponíveis, em especial a madeira e o ouro (CUNHA, 2006; PASSOS, 2017). Sinop chegou a ser considerado um dos principais polos madeireiros da Amazônia (PINHEIRO, 2015) e a mineração de ouro tornou-se, durante anos, uma das mais importantes atividades econômicas em Peixoto de Azevedo, Garantã do Norte, Novo Progresso e nas localidades de Moraes Almeida (em Trairão) e Castelo dos Sonhos (em Altamira). Essa última localidade ficou internacionalmente conhecida, devido à alta produção de ouro e aos chocantes episódios de violência e disputa de poder (TORRES, 2005).

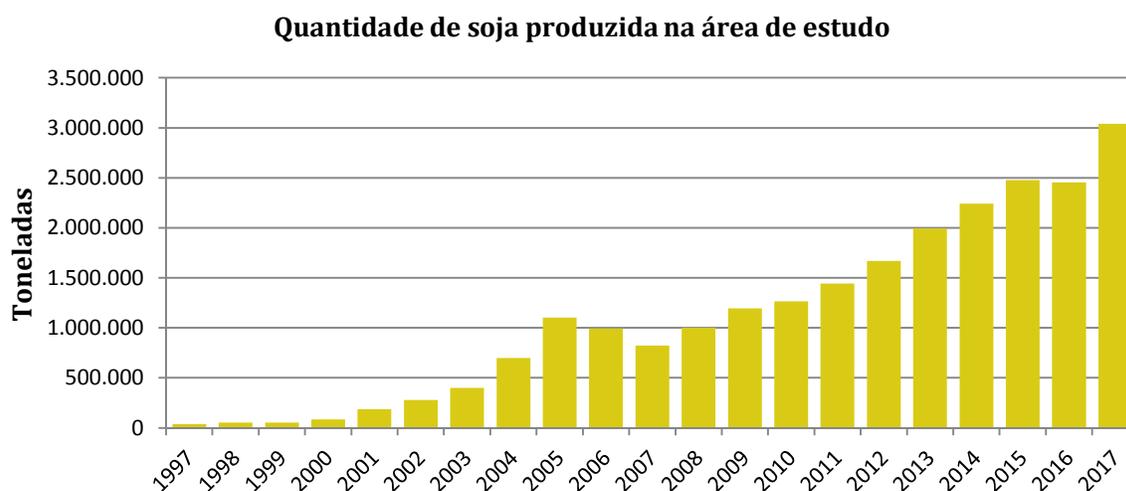
No final da década de 80, mudanças nas normas para exploração madeireira (PINHEIRO, 2015) e para a mineração do ouro (VEIGA; SILVA; HINTON, 2002) impactaram as práticas dessas atividades, contribuindo para a consolidação da pecuária na região (PASSOS, 2017). Atualmente, o cultivo de soja vem ganhando espaço significativo influenciando diretamente os setores de agricultura, indústria e serviços, transformando a função das cidades e fazendo da região uma das mais representativas zonas de fronteira agrícola no país (COY; KLINGLER, 2014).

3.1.3. Aspectos políticos específicos da região

O processo de expansão da soja na região e suas possíveis implicações ambientais e sociais têm sido amplamente analisada, principalmente após o plano de conclusão do asfaltamento da BR-163 ser inserido dentre as metas do governo

federal, em 1998 (CASTRO, 2007; FEARNSIDE, 2007; TORRES, 2005). Mesmo não estando totalmente pavimentada, a rodovia é considerada uma das mais estratégicas do Brasil, sendo de fundamental importância para o escoamento de *commodities* agrícolas produzidas na região Centro-oeste e contribuindo para que a região apresente valores crescentes de produção de soja (Figura 3.3).

Figura 3.3. Produção de soja na área de estudo.

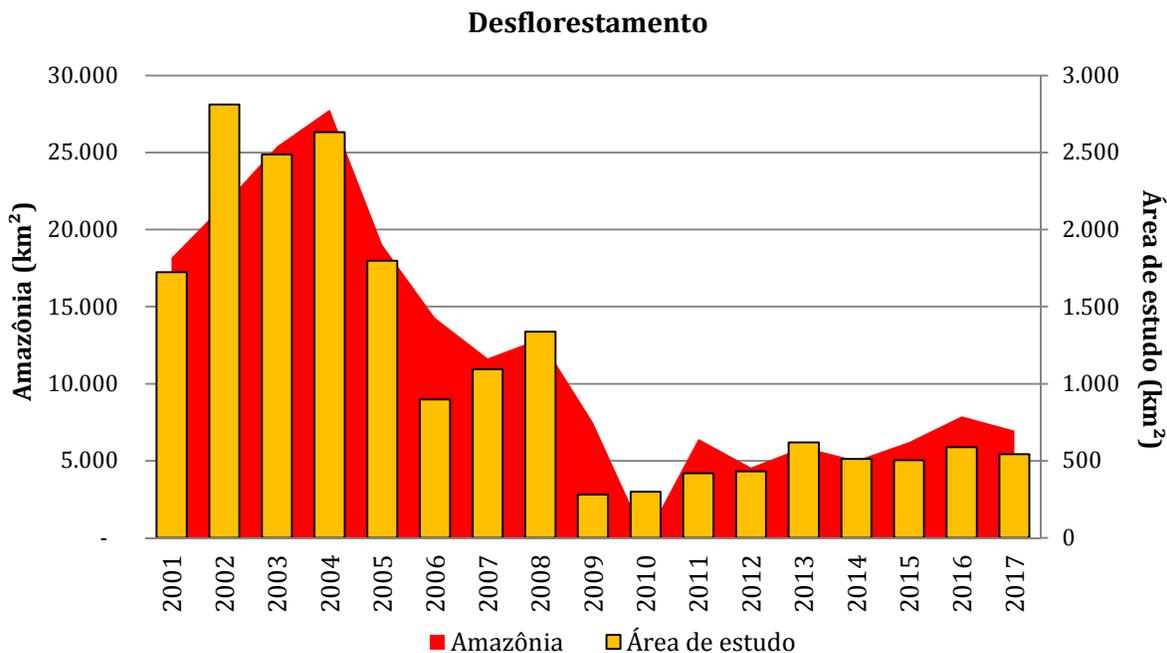


Fonte: Produção da autora.

A associação do processo de expansão agrícola e o desflorestamento na região se intensificou a partir de 2002, quando os municípios da região alcançaram taxas de desflorestamento não vistas em períodos anteriores (Figura 3.4). Logo em seguida, em 2004, a área desflorestada na Amazônia somou mais de 27.000 km², a maior desde 1991.

Regionalmente, os níveis alarmantes de desflorestamento foram associados diretamente ao projeto de asfaltamento da rodovia BR-163 e a inauguração do porto da empresa Cargil, em 2003, na cidade de Santarém, no Pará (COSTA, 2012). O que motivou a criação de uma séria de políticas públicas e mecanismos privados de governança voltados para o combate ao desflorestamento em especial, na área influência da rodovia BR-163 (BENATTI; FISCHER, 2018).

Figura 3.4. Taxas de desflorestamento na Amazônia e na área de estudo.



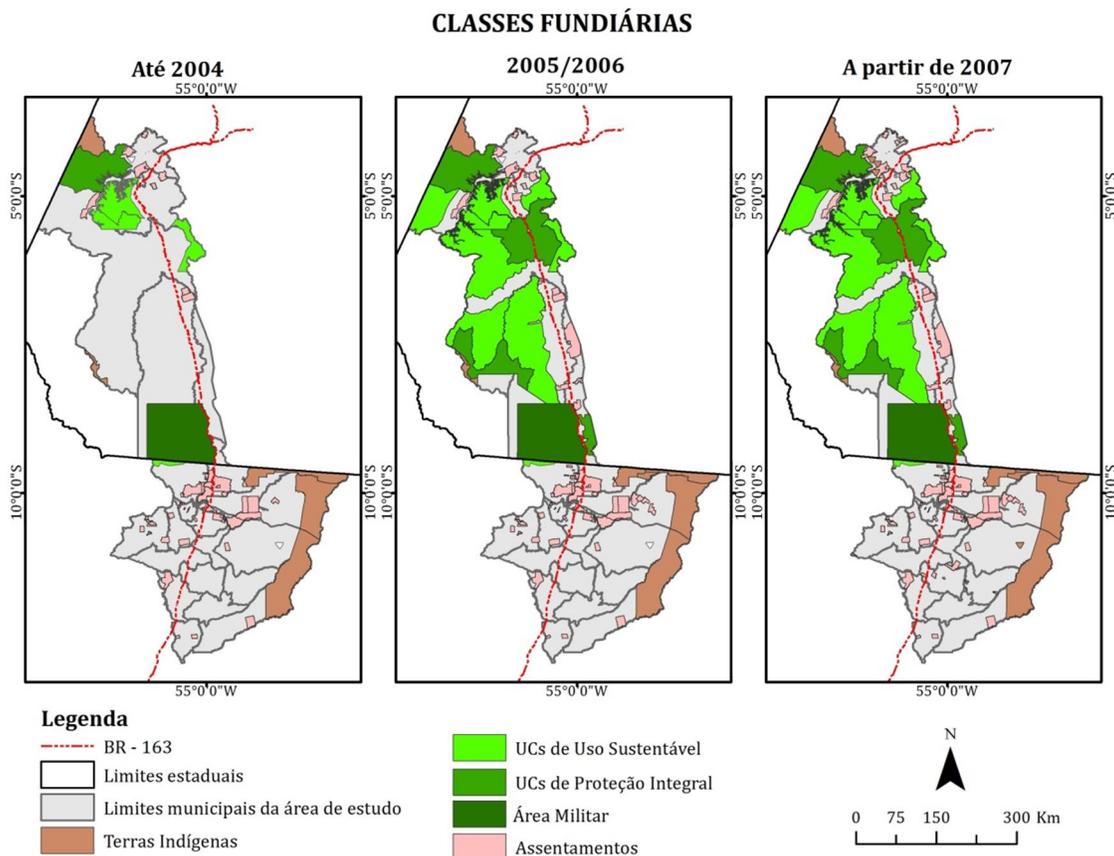
Fonte: Produção da autora.

É nesse contexto que o *Plano BR-163 Sustentável* é concebido. Considerado um modelo de projeto político inovador por estar balizado na participação de diferentes grupos sociais e usar o histórico de ocupação e as peculiaridades socioeconômicas municipais como critério para subdivisões de zonas de gestão (ALENCAR et al, 2004). As consultas públicas realizadas no âmbito do *Plano BR-13 Sustentável* enfatizaram os problemas fundiários e a falta de apoio à produção sustentável como elementos chave para o combate ao desflorestamento na região (CASA CIVIL, 2006). Assim, a resolução desse problema passou a ser considerada diretriz prioritária do Plano, influenciando a criação da Medida Provisória (MP) nº 239/05, que criou a Área sob Limitação Administrativa Provisória (ALAP), destinando 8,2 milhões de hectares de terras no oeste do Pará para regularização fundiária.

Concomitantemente, ao *Plano Br-163 Sustentável*, também foi criado o *Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia* (PPCDAM), baseando suas

ações em quatro importantes eixos de ação: 1) *monitoramento e controle*; 2) *ordenamento fundiário e territorial*; 3) *fomento às atividades sustentáveis*; e 4) *infraestrutura*. No âmbito do PPCDAM foi criado o Grupo de Trabalho responsável por destinar as terras delimitadas na ALAP. Somente na área de estudo desse trabalho, oito Unidades de Conservação e 15 Projetos de assentamento foram criados entre os anos de 2005 e 2006 (Figura 3.5).

Figura 3.5. Evolução da estrutura fundiária na área de estudo.



Fonte: Produção da autora.

A tentativa de realizar um ordenamento em caráter emergencial na região também foi acompanhada pela criação do Distrito Florestal Sustentável (DFS), definido como um complexo geoeconômico que teria prioridade no recebimento de políticas de estímulo à produção florestal sustentável (BRASIL, 2006). O decreto

também instituiu um Grupo de Trabalho responsável pela concepção dessas ações, com foco nas atividades florestais sustentáveis e elaboração do seu plano de implementação, como inventários florestais, gestão das florestas públicas, incentivos fiscais e creditícios à cadeias produtivas de base florestal sustentável, implementação de assentamentos e mecanismo de remuneração por serviços ambientais.

Avaliações do alcance das diretrizes previstas no *Plano BR-163 Sustentável* e no PPCDAM (MMA, 2016) apontam que além de não terem alcançado êxito no apoio às cadeias produtivas sustentáveis, também não conseguiram resolver a questão fundiária. Atualmente, as UCs criadas nesse período estão entre as que apresentam as maiores taxas de desflorestamento na Amazônia, além de apresentarem problemas de sobreposição com propriedades privadas e comunidades. Todavia, o principal mérito do PPCDAM estaria na melhoria da capacidade de monitoramento do desflorestamento, resultado da criação do Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) e parceria interinstitucional entre INPE e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Em 2006, foi realizado o Zoneamento Ecológico e Econômico da área de influência da BR-163 (ZEE), cuja principal função era contribuir para o ordenamento fundiário e gestão de uso da terra na região. Poucos anos depois, as áreas definidas no ZEE como de “uso consolidado”, serviram como base para um decreto Paraense que redefinia a área de Reserva Legal para 50% da propriedade ao invés dos 80% exigidos no bioma Amazônia (PARÁ, 2010). Posteriormente, o mesmo critério foi definido no Código Florestal Brasileiro em 2012 (BRASIL, 2012).

Ainda em 2006, foi criada a Moratória da Soja, que consistiu em um acordo entre Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) e a Associação Nacional de Exportadores de Cereais (ANEC), onde se comprometiam a não

comercializarem grãos oriundos de áreas desmatadas ilegalmente. A princípio o compromisso teria a duração de dois anos, a partir de 2008 passou a ser renovado anualmente e em 2016 foi renovado por tempo indeterminado (ABIOVE, 2014). Essas políticas são apenas alguns dos exemplos de iniciativas em prol de uma governança ambiental na região. Sua influência nos padrões de mudança no uso da terra tem sido extensamente estudada.

Outros mecanismos de governança e política ambiental foram e continuam a ser experimentados na região, como o Termo de Ajuste de Conduta da Carne (TAC da Carne), ações de regularização fundiária, como o Programa Terra Legal, e os Programas estaduais de apoio a regularização ambiental como o Programa Municípios Sustentáveis, no Mato Grosso, e o Programa Municípios Verdes, no Pará. A importância de salientar a existência desses mecanismos é demonstrar que mesmo sendo historicamente alvo de políticas e ações públicas e privadas de combate ao desflorestamento e incentivo a práticas sustentáveis, a região continua a apresentar elevadas taxas de desflorestamento. O destaque ao considerável número de mecanismos de governança na região é para enfatizar a importância de se ter cuidado ao associar mudanças nos padrões de uso da terra a uma única política ou programa e a necessidade de considerar processos decisórios locais, buscando entender como os aspectos políticos podem interferir nas decisões de mudança de uso da terra e repensar as estratégias de controle e planejamento de uso da terra na região.

3.1.4. Padrões de mudança de uso da terra regional

Existem uma tendência das análises dos padrões de mudança no uso da terra na região de estudo associarem essas mudanças às políticas e mecanismos de governança com influência regional. De acordo com Macedo et al., (2012), os padrões de expansão agrícola partindo do cerrado mato-grossense em direção ao bioma Amazônia podem ser divididos em dois momentos: o período de 2000 a

2005, quando a expansão da soja foi mais intensa e com elevadas taxas de desflorestamento; e um momento posterior, observado a partir do ano de 2006, quando as taxas de desflorestamento começam a diminuir enquanto tanto a área quando a produção de soja continuou a aumentar. Essa mudança no padrão de desflorestamento, estaria associada à existência de incentivos ao uso produtivo de terras e a pressão causada pela Moratória da soja e ações de fiscalização do PPCDAM.

Análise dos padrões de expansão da soja também foi realizada por Morton et al., (2016), especificamente para o estado do Mato Grosso, considerando o período de 2000 a 2004. Nesse período, 17% de todo o desflorestamento no estado teria consistido na conversão direta de floresta para lavouras de soja. Somente nos anos de 2002 a 2003 (período no qual os municípios da área de estudo atingiram a maior taxa de desflorestamento), esse tipo de conversão teria aumentado de 13% para 23%, concentrando-se ao longo da BR-163, no entorno das áreas de produção de grãos e sendo caracterizada pela abertura de extensas áreas contínuas para o cultivo.

Barona et al., (2010) associaram as taxas de desflorestamento, dados de área plantada de grãos e número de cabeças de gado, referente ao período de 2000 a 2006, para todos os municípios da região amazônica. Os autores identificaram que em municípios onde houve maior crescimento da soja também ocorreu a diminuição de áreas de pastagem, sugerindo assim, que a expansão do grão se daria preponderantemente sobre as áreas de pasto, em especial no estado do Mato Grosso. No entanto, essa conversão não excluiria o efeito indireto da expansão da soja no deslocamento das pastagens para outras regiões ainda florestadas, o que caracterizaria um processo de “desmatamento indireto” associado à soja.

Também adotando os dados de desflorestamento, área plantada de soja e número de cabeças de gado, Gollnow e Lakes (2014) concentraram suas análises nos municípios ao longo da BR-163, considerando o período de 2001 a 2012. Segundo os autores, a expansão da cultura de soja se deu de forma mais intensa no intervalo de 2001 a 2004 e embora esteja associada ao desflorestamento, parte preponderante desse processo ainda está associada à expansão de pastagens. No período subsequente (a partir de 2005), a expansão da soja apresentava uma dinâmica instável, porém, o diferencial desse período estaria no aumento da produção agrícola e no decréscimo do desflorestamento na região. Para os autores, essa mudança no padrão de desflorestamento estaria associada à intensificação das ações de comando e controle promovidas pelo PPCDAM.

A importância de instrumentos como a Moratória da soja e o próprio Código Florestal Brasileiro é destacada por Gibbs et al. (2015) ao compararem os valores de expansão da soja em áreas de vegetação nativa e em áreas desflorestadas na Amazônia, no MATOPIBA¹ e para a totalidade do cerrado. Os autores demonstram que após a Moratória, a conversão de floresta para soja diminuiu drasticamente na Amazônia, porém, continuou em plena expansão no cerrado, em especial na região do MATOPIBA, onde aproximadamente 40% da expansão agrícola teria se dado sobre a vegetação nativa e cuja a região não é alvo da Moratória da soja. O que tem chamado a atenção para a vulnerabilidade dos ecossistemas do cerrado diante da intensificação da expansão agricultura sem que haja o mesmo nível de normas ambientais da Amazônia.

Apesar de estudos correlacionarem a Moratória da soja à queda no desflorestamento na Amazônia, a ideia de “mudanças indiretas de uso da terra” levantada por Arima et al. (2011) e Lapola et al. (2010), questionam o verdadeiro

¹ MATOPIBA é considerada a mais recente e dinâmica fronteira agrícola no Brasil. A denominação se originou da junção das primeiras sílabas dos nomes do estado do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, cujas áreas de cerrado constituem a região do MATOPIBA.

resultado da Moratória, uma vez que a compra e arrendamento de propriedades já desmatadas e o posterior deslocamento da pecuária e pequena agricultura para novas áreas também se constitui em uma forma de expansão do grão na região.

Também se faz necessário considerar prováveis vazamentos desses mecanismos de governança. Por exemplo, em pesquisa realizadas em grandes propriedades, Gibbs et al. (2015) identificaram que os produtores têm maior propensão a desrespeitarem o Código Florestal do que a moratória da soja. Apesar disso, algumas lacunas no monitoramento da executado pela Moratória podem representar barreiras ao seu total sucesso, por exemplo, apenas a área da propriedade destinada à lavoura é monitorada enquanto que áreas de Assentamentos rurais também não são monitorados, o que poderia facilitar a produção ilegal de soja. Os autores estimaram que só no período de 2007 a 2014, 7% da expansão da soja na região ocorreu em áreas de assentamentos.

Para Nepstad (2014) os esforços de monitoramento, punição para desmatadores e restrição do acesso a mercados conseguiu frear o desflorestamento na região, mas por outro lado, a ausência de incentivos à inovação produtiva não resolveu o problema da falta de investimentos e, principalmente, a construção de um novo modelo de desenvolvimento que integre medidas punitivas e incentivos positivos, de modo que a queda do desflorestamento também representasse a ascensão de um modelo de produção sustentável na Amazônia.

Após a análise da bibliografia sobre o histórico, aspectos políticos e dos padrões mais recentes de mudanças de uso da terra na região, foi iniciada a etapa de trabalhos de campo.

3.2. Geração de dados primários - o experimento de campo

O experimento para obtenção de dados primários sobre decisões de uso da terra foi avaliada e aprovada pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), que regulamenta pesquisas que envolvem seres humanos no Brasil. O registro do projeto é 65243417.6.0000.0077 e pode ser consultado na página online da Plataforma Brasil (www.plataformabrasil.saude.gov.br).

Um dos principais desafios na integração de dados qualitativos a modelos matemáticos está na dificuldade de parametrização de narrativas de um modo claro, quantificável e de fácil associação a outros elementos espaciais ou matemáticos, geralmente considerados em um modelo. No campo da modelagem de uso da terra, diversas metodologias têm sido experimentadas para a obtenção de dados primários, na tentativa proporcionar melhor tradução de aspectos qualitativos (ex. diversidade de atores, estratégias econômicas locais, processo de tomada de decisão e aspectos comportamentais) para modelos quantitativos.

Dentre os inúmeros métodos testados em campo com posterior associação a análise de decisões sobre uso da terra, cabe destaque o *Participatory Mapping* (BROWN; RAYMOND, 2014; BROWN et al., 2018; ROHRBACH; LAUBE e WEIBEL, 2018), *Choice Experiment* (GREGG; ROLFE, 2016; MANSKI, 1993), *Fuzzy Cognitive Maps* (KOK, 2009; VAN DER SLUIS et al., 2018; VAN VLIET; KOK; VELDKAMP, 2010), *Role Playng Games* (BARRETEAU et al., 2002; GOURMELON et al., 2013; VIEIRA PAK; CASTILLO BRIEVA, 2010), e Cenários exploratórios (DE BRUIN et al., 2017; DERBYSHIRE; WRIGHT, 2017; WIEBE et al., 2018). A análise da aplicação desses métodos auxiliou na concepção do experimento desenvolvido nesse trabalho, o qual foi adaptado à realidade regional e ajustado para responder questões específicas relacionadas à tomada de decisão de uso da terra e sua relação com aspectos de mercado e governança.

3.2.1. Trabalho de campo

O trabalho de campo foi executado em dois momentos. O primeiro teve caráter exploratório e contou com a participação de uma equipe interdisciplinar de pesquisadores que viajou de Sinop (Mato Grosso) à Santarém (Pará). A viagem foi realizada entre os meses de agosto e setembro de 2016, com o objetivo de identificar aspectos da dinâmica de uso da terra regional, elencar atores diretamente envolvidos nesse processo e os fatores que influenciam direta ou indiretamente as decisões desses atores sobre o uso da terra.

Nessa oportunidade, entrevistas foram realizadas com representantes das Associações e Cooperativas de produtores rurais (APROSOJA, APRONOP, COOPERGUARANTÃ, ACRINORTE, Associação dos Produtores Rurais de Itaituba e Associação dos Produtores Rurais de Santarém), órgãos de Pesquisa (Embrapa) e Assistência técnica (EMPAER, EMATER), representantes das Secretarias municipais de Agricultura (Sinop, Itaituba) e Meio Ambiente (Itaituba), órgãos de fiscalização (IBAMA e ICMBio), Tradings e Empresas de transbordo de Cargas (Cargil e Hidrovias do Brasil S/A) e produtores rurais da região. A partir das informações obtidas nessa etapa o experimento para identificar decisões sobre uso da terra começou a ser desenhado.

O segundo trabalho de campo foi realizado nos meses de março e abril de 2017. Nessa ocasião, o experimento criado foi aplicado em três municípios previamente selecionados: Sinop, Guarantã do Norte e Novo progresso. A escolha desses municípios pautou-se na compreensão de que eles revelam diferentes estágios do processo de expansão agrícola regional. Sinop, cuja economia se baseia na produção de soja e na oferta de serviços especializados para o setor do agronegócio; Guarantã do Norte, que vivência uma transição da prática da pecuária para o cultivo de grãos (conforme observado em campo e confirmado pelos dados fornecido pelo IBGE, 2017); e Novo Progresso, onde a expansão da

cultura de soja já pode ser observada, de modo que já ocupa a 6ª posição de município com a maior área plantada de soja no Pará (IBGE, 2017).

Participaram diretamente do experimento um total de 75 pessoas (73% das entrevistas contou com a participação de vários membros da família). Sendo 63 produtores rurais (21 em cada município), seis representantes do poder público (um da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e um da Secretaria de Agricultura) e seis representantes de associações e cooperativas de produtores rurais (dois em cada município).

Na ocasião do segundo trabalho de campo, alguns eventos influenciaram a recepção da equipe de pesquisa no campo, a disponibilidade dos atores em contribuir para o trabalho e até a perspectivas dos produtores em relação as atividade agrícola por eles praticadas:

- a) A operação “*Carne Fraca*”, conduzida pela Polícia Federal, foi responsável por denúncias sobre adulterações nas carnes negociadas por vários frigoríficos no país, o que ocasionou uma crise no setor produtivo, diminuído a compra do produto pelos mercados internacionais e, conseqüentemente, a redução no preço da carne. Na área de estudo, a queda no preço da carne era a maior preocupação dos pecuaristas entrevistados.
- b) Logo em seguida, o IBAMA realizou a operação “*Carne Fria*”, com o objetivo de punir frigoríficos que negociavam carne oriunda de propriedades com infrações ambientais. Essa operação foi responsável pelo fechamento de vários frigoríficos na área de estudo.
- c) Ainda no mesmo período, o Governo Federal voltava a cobrar o imposto para o Fundo de Assistência ao Trabalhador Rural – FUNRURAL, o qual havia sido considerado anticonstitucional durante seis anos, mas que a

partir de então, voltava a ser cobrado, incluindo o pagamento retroativo não realizado. Tal fato motivou muitos debates em campo, principalmente na ocasião das entrevistas nos Sindicatos e Associações de produtores.

- d) No município de Novo Progresso, a tensão se dava em função da Medida Provisória 756/16, que previa o desmembramento de uma parcela da Floresta Nacional (FLONA) do Jamanxim para dar origem a uma nova área protegida na categoria de Área de Proteção Ambiental (APA). A medida foi considerada perigosa por especialistas, devido a maior flexibilidade para o desenvolvimento de atividades econômicas que seriam permitidas na área que passaria a ser uma UC de uso sustentável e que não permitidas anteriormente como uma UC de Proteção integral. Entretanto, a maior preocupação em nível local era o acréscimo de mais 534 mil hectares a serem incluídos nessa nova UC. O novo limite a ser protegido deveria se estender a toda margem esquerda do rio Jamanxim, a qual é densamente ocupada por pecuaristas e que a partir de então, deveriam se adequar às regras da UC para exercer suas atividades em consonância com o plano de manejo definido pelo ICMBio. Na ocasião do trabalho de campo, a equipe foi conduzida por atores locais à região de conflito e participou de reuniões de lideranças locais onde se debatia o assunto.

Além do contexto político, a dificuldade no acesso a produtores em regiões mais distantes das principais vias de circulação foi agravada pela extensão do período de chuvas na região que tornou algumas estradas vicinais intrafegáveis.

3.2.2. Atores considerados

A seleção dos atores foi um desafio, dada a complexidade histórica, econômica e política regional. Os incentivos políticos de ocupação e as posteriores tentativas de regularização fundiária na região resultaram em uma miríade de atores,

atividades, relações e arranjos institucionais complexos. No entanto, considerando o foco da pesquisa no processo de expansão agrícola e na tomada de decisão sobre uso da terra, optou-se por trabalhar diretamente com os proprietários de terras dedicados às atividades agrícolas.

Assim, foram considerados os diferentes tamanhos de propriedades rurais, definidos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) com base no número de módulos fiscais, e classificados de acordo com a atividade desenvolvida, resultando em quatro grupos:

- a) O grande produtor de Soja – proprietário de terras classificadas de média a grandes propriedades (propriedades acima de 300ha no Pará e de 360ha no Mato Grosso), dedicados à produção de culturas anuais como soja e milho.
- b) O grande pecuarista - proprietário de terras classificadas de média a grandes propriedades, dedicados aos mais diversos tipos de atividade pecuária, como corte, cria-recria, engorda e leiteira.
- c) Pequeno agricultor – proprietários de pequenas propriedades, as quais não ultrapassam o tamanho de quatro módulos fiscais. Na região, embora alguns pequenos produtores ainda dedicam-se à agricultura de subsistência, é preponderante o número de produtores que já trabalham com o cultivo de soja.
- d) Pequeno pecuarista – também proprietários de pequenas propriedades, mas dedicados à pecuária, em especial à pecuária leiteira.

A seleção dos produtores em campo contou com o auxílio da Empresa Mato-grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER) no Mato Grosso e com indicações feitas pelas Associações e Sindicatos de Produtores Rurais e

Secretarias Municipais no Pará. Conforme solicitado, os produtores indicados para a entrevista possuíam terras de tamanhos variados e estavam localizados em diferentes zonas dos municípios. Na maioria dos casos, os agricultores indicados já contavam com a visita da equipe para entrevista e em algumas ocasiões os funcionários ou representantes das associações acompanharam a equipe. Para evitar que a presença desses agentes influenciasse a revelação de decisões no jogo, as entrevistas com a presença dos representantes das instituições foram excluídas e refeitas na vizinhança com outros produtores não indicados previamente pelos órgãos e sindicatos. Para tentar evitar a influência de terceiros no momento de manifestar e discutir as decisões de uso da terra, optou-se por entrevistas individuais e não em abordagens de grupo.

3.2.3. O questionário

O questionário teve duas funções: (1) caracterizar os diferentes grupos de produtores rurais e obtendo informações sobre histórico familiar, trajetória de uso da terra, estrutura familiar, barreiras enfrentadas no exercício da atividade, estratégias adotadas nas decisões sobre mudanças de atividade e adoção de novas tecnologias, planos futuros e percepção sobre mecanismos de governança na região; e (2) preparar o ambiente para a aplicação do jogo.

3.2.4. Um jogo de decisão

Jogos de decisão originaram-se no campo militar, com a função de facilitar o desenho de estratégias e táticas militares em situações de conflito, sendo, por essa razão, também conhecido como *Jogos de decisões táticas* (LAUCHE; CRICHTON; SASKIA BAYERL, 2009). Existe uma variedade de jogos que se enquadram na categoria de Jogos de decisão, sendo mais comuns os *Jogos de Decisões Éticas* (BAZERMAN; SEZER, 2016; ZHONG, 2011) e o *Role Playing Games* ou *Jogos de Interpretação* (BARRETEAU et al., 2002; GOURMELON et

al., 2013). Esses jogos consistem, basicamente, na apresentação de diferentes cenários hipotéticos para que tomadores de decisões manifestem suas estratégias e decisões em cada situação. No campo científico, em especial nas pesquisas comportamentais, esses jogos de decisão estão geralmente associados a análises de processos decisórios. Sua capacidade de obtenção de respostas rápidas para possíveis problemas tem contribuído para sua ampla adoção nos setores de negócios (HATFIELD, 2016), decisões operacionais (LI; VOROBAYCHIK, 2015; REZAEI; IZADBAKHSH; YOUSEFI, 2016) e logística (LIU; SHEN; XIE, 2017; LIU; WANG, 2015).

Nesse trabalho, a lógica dos jogos de decisão foi adotada com o objetivo de identificar possíveis decisões de uso da terra em diferentes cenários. O principal desafio na concepção desse experimento estava na seleção de variáveis capazes de influenciar decisões e que ao mesmo tempo fossem comuns a todos os grupos considerados no trabalho. Considerando que uma infinidade de variáveis pode influenciar decisões de uso da terra em nível individual, optou-se por dar ênfase na importância dos incentivos de mercado e governança como determinantes para tomada de decisão, fundamentando-se na teoria de *Law enforcement* aplicada a estudos de conservação (BECKER, 1968; BÖRNER et al., 2014; GAROUPA, 1997).

3.2.4.1. Variáveis

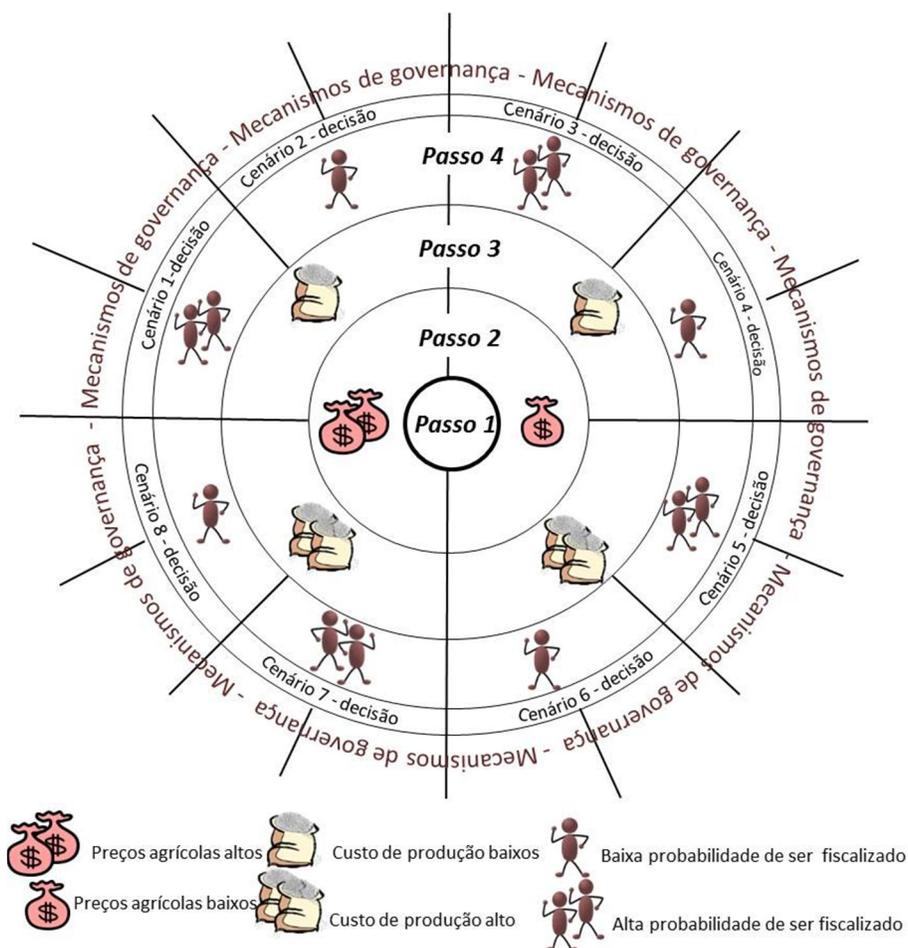
Para representar a relação entre incentivos de mercado (benefícios) e de governança (punição) na perspectiva dos usuários da terra, foram elencadas como as variáveis principais no jogo de decisão: *preços agrícolas, custos de produção e frequência de fiscalização ambiental*. Para *preços agrícolas* e *custos de produção*, foram definidos dois níveis de valores: *alto* e *baixo*. E para a *frequência de fiscalização ambiental*, cinco níveis de frequência (também entendidas pelos produtores como probabilidades de serem fiscalizados no período de um ano):

muito baixa (0-20%); baixa (20-40%); média (40-60%); alta (60–80%); e muito alta – certeza de ser fiscalizado (80–100%).

3.2.4.2. Etapa 1 – Estrutura do jogo

O jogo de decisão foi apresentado em forma de tabuleiro redondo (Figura 3.6), onde cada jogador era representado por uma peça colocada no centro do tabuleiro. Na **primeira rodada**, o jogador começou representando sua fazenda, através de um croqui simples onde era descrito o uso da terra corrente e os possíveis lugares para execução do projetos futuros (Apêndice A.1).

Figura 3.6. Esboço do Jogo de decisão.



Fonte: Produção da autora.

Na **segunda rodada** do jogo, os *preços agrícolas* foram alterados pelo aplicador para os níveis mais altos ou mais baixos. Essa variação no preço teve como base o preço regional corrente durante o trabalho de campo. Os preços não foram diminuídos ou aumentados para além do que seria possível, para isso uma análise do histórico de preços dos produtos agrícolas foi realizada antes do trabalho de campo e a variação baseou-se em porcentagem considerando o valor corrente, vislumbrando sua tradução para o modelo quantitativo, posteriormente. Assim, os preços variaram até que uma decisão de uso da terra fosse revelada, ou até que limites de preços máximo e mínimo fossem atingidos, nesse caso, mudanças nos preços agrícolas, sozinhos, podiam não ser significativos para as decisões de uso da terra. Um exemplo do controle de custo utilizado em campo pode ser visto na Figura 3.7.

Figura 3.7. Tabela de controle de preço utilizada em campo.

PREÇO DA TERRA (ha)		
<input type="text"/>	PREÇO ATUAL	70
		70,1
CUSTO DE PRODUÇÃO		
2875	PREÇO ATUAL	2.100
		2.500
PREÇO DO PRODUTO		
4564	PREÇO ATUAL	756
		4964

Fonte: Produção da autora.

Na **terceira rodada**, os jogadores foram expostos a mudanças nos *custos de produção*. A abordagem foi semelhante a da etapa anterior para definição dos *preços agrícolas*. Para os *preços agrícolas* foram adotados como unidades de

medida o padrão para os produtos comercializados na região como o preço da saca de soja (60 kg), da arroba de carne bovina (15 kg) e do litro de leite. Enquanto os custos variaram consideraram o tipo de atividade exercida e seus principais insumos de acordo com o a sugestão dos produtores referindo-se a seus principais gastos, por exemplo, fertilizantes, sementes e maquinaria para agricultores de soja e compra de bezerros, sal e reforma de pastagens para pecuaristas.

Os custos com mão de obra não foram considerados por opção dos entrevistados. Provavelmente devido à pressão das fiscalizações realizadas pelo Ministério do trabalho na região e problemas com as denúncias de trabalho semelhante à escravidão, os quais também são adotados pelos mecanismos como moratórias da soja e da carne para barrar a compra de produtos das propriedades denunciadas.

Finalmente, na **quarta rodada**, para cada combinação de preço agrícola (alto/baixo) e custo agrícola (alto/baixo), os jogadores foram expostos aos diferentes níveis de frequência de fiscalização. Essa rodada foi mais complexa, utilizou-se uma escala de 1 a 5 para representar a frequência de fiscalização ambiental, onde 1 representava ausência de fiscalização e 5 a certeza de ser fiscalizado. Porém, para facilitar a geração de cenários, apenas os critérios de frequência de fiscalização *intensa* e *fraca* foram adotadas. Para isso, a escala de 1 a 5 foi adaptada de modo que valores 1 e 2 na escala são definidos como *fraca* e de 3 a 5 como *intensa*.

A ideia nessa etapa era identificar se a frequência de fiscalização estimulava ou desestimulava determinadas decisões de uso da terra em cada contexto predefinido pelas variáveis de preços e custos. Sabe-se que a percepção dessa escala por cada produtor e a forma como se sentem pressionados é diferente e subjetiva. De todo modo, a frequência de fiscalização ambiental foi considerada a

melhor variável para representar a pressão dos mecanismos de governança nessa etapa do trabalho porque o registro de fiscalização e embargos realizados pelo IBAMA é adotada como principal base de dados para que os mecanismos de governança como as moratórias executarem suas punições. As decisões resultantes dessa etapa do experimento são apresentadas no capítulo 4.

3.2.4.3. Etapa 2: decisões e fatores de influência

Esta pesquisa partiu do pressuposto de que embora as variáveis inseridas no jogo sozinhas não abarquem a complexidade da tomada de decisão sobre o uso da terra, o uso do jogo de decisão é capaz de fornecer respostas rápidas e estratégicas sobre questões chave e mais imediatas, compreendidas no processo de tomada de decisão. Além disso, também se considerou que essas variáveis são importantes para todo tipo de produtor, independente de sua localização, além de serem comumente associadas às mudanças no uso da terra regional, sendo comum a associação entre preços, políticas e taxas de desflorestamento na Amazônia brasileira (ASSUNÇÃO et al., 2015; NEPSTAD et al., 2014). Na segunda etapa do experimento de campo, outras variáveis de importância nesse processo foram consideradas, como aspectos logísticos, de aptidão agrícola e até o efeito de vizinhança sobre decisões individuais.

Todas as decisões de uso da terra resultantes do jogo foram dispostas em uma planilha e debatidas, considerando a influência de elementos logísticos, de vizinhança e de governança para a reavaliação de cada decisão. Por sugestão dos entrevistados, se considerou como fatores logísticos de maior importância: as rodovias, a proximidade com área urbana e a disponibilidade de silos. Quanto à vizinhança, foi questionado se a mudança de uso da terra realizada por vizinhos próximos influenciam as decisões do entrevistado, por exemplo, se o vizinho “limpa” uma área de mata, ou se muda de pecuária para soja, ou se vende ou arrenda sua propriedade, como essa ação influencia as decisões já tomadas. As

respostas a essas perguntas foram importantes para parametrizar o modelo, como será descrito no capítulo 5.

3.2.4.4. Etapa 3: decisões e políticas

Esta rodada teve como foco a representação da perspectiva de atores locais sobre a governança ambiental regional, com foco nas leis que influenciam o cotidiano dos produtores agrícolas suas decisões de uso da terra. Primeiramente foi solicitado aos participantes que indicassem quais os mecanismos de governança afetam suas decisões sobre uso da terra em ordem de importância e justificando essa influência. Posteriormente, as decisões de uso da terra resultantes do jogo foram expostas e discutidas à luz de cada mecanismo de governança mencionado.

A ideia inicial para essa etapa era identificar possíveis ideias de mecanismos de governança complementares que poderiam ser adotados na região, no entanto, logo no início do trabalho, em conversa com representantes do poder público, a dificuldade em implementar os mecanismos já existentes foi colocado como um ponto crucial para evolução da governança ambiental na região. Assim, focou-se nos mecanismos de governança já existentes e na percepção dos atores locais sobre eles.

Para cada mecanismo de governança questionou-se a percepção do produtor sobre o seu nível de “funcionamento” ou implementação. O objetivo era entender porque alguns mecanismos de governança são cumpridos e outros não e quais seriam as barreiras ou incentivos presentes nesses mecanismos que seriam capazes de afetar decisões de uso da terra para usos da terra de menor ou maior impacto ambiental. Também questionou-se sobre o nível de implementação desses mecanismos na percepção dos produtores e possível reavaliação das decisão de uso da terra já tomadas diante de cenários “business as usual” e com

implementação dos mecanismos de governança. Para os casos onde o produtor mudasse de decisão diante de um mecanismos de governança, questionava-se para qual decisão essa mudança era feita.

Posteriormente essa probabilidade foi traduzida para o modelo, no intuito de gerar cenários de uso da terra com diferentes níveis de implementação dos mecanismos de governança. Os resultados dessa são apresentados no capítulo 6.

4. DECISÕES DE USO DA TERRA: EVIDÊNCIAS ORIUNDAS DO JOGO DE DECISÃO

Partindo do pressuposto de que as decisões de uso da terra na região de estudo são influenciadas preponderantemente por incentivos de mercado e a pressão dos mecanismos de governança, esse capítulo apresenta e discute as decisões resultantes do experimento de campo onde preços agrícolas, custo de produção e frequência de fiscalização ambiental são relacionados às decisões de uso da terra.

Aspectos das estratégias adotadas na decisão de uso da terra obtidas através dos questionários também foram consideradas para contextualização do perfil dos produtores e das decisões tomadas. Os resultados apresentados nesse capítulo podem ser úteis para proporcionar melhor compreensão da dinâmica de uso da terra regional e da influência dos aspectos de mercado e de políticas sobre o uso da terra a partir da perspectiva dos atores locais.

4.1. Método de análise de dados com Árvores de Decisão

Primeiramente, todas as variáveis do jogo e as decisões resultantes foram analisadas pelo método estatístico de *Árvore de decisão*, independentemente do cenário criado, mas considerando as decisões de cada grupo de produtor (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Exemplo de formato de dado de entrada para análise baseada em Árvores de decisão.

obs	farm	ndecisiao	Decisão	PRECOS_AGRICOLAS	CUSTO_PRODUCAO	FISCALIZACAO_AMBIENTAL
15	15	1	MANTEM	ALTO	BAIXO	INTENSA
16	16	1	MANTEM	ALTO	BAIXO	INTENSA
17	1	1	MANTEM	ALTO	ALTO	INTENSA
18	2	6	ARRENDA/VENDE	ALTO	ALTO	INTENSA
19	3	6	ARRENDA/VENDE	ALTO	ALTO	INTENSA
20	4	2	MUDA_ATIVIDADE	ALTO	ALTO	INTENSA

Fonte: Produção da autora.

Para isso foi utilizado o pacote “*rpart*” (THERNEAU; ATKINSON, 2018), disponível no software de análise estatística R v.3.5.0 (R TEAM, 2017). Esse pacote dispõe de dois métodos de classificação para construção de *Árvores de decisão*, os métodos “*anova*” e “*class*”. Nesse estudo, foi utilizado o método “*class*”, que é de uso específico para análise de dados categóricos.

O método “*class*” analisa um conjunto de dados com variáveis independentes e suas categorias (altos e baixos *preços agrícolas e custos de produção e intensa e baixa fiscalização ambiental*) e sua contribuição para que um determinado resultado na variável dependente seja alcançado (*as decisões de uso da terra*). Criando, assim, intervalos homogêneos e não sobrepostos de categorias, baseando-se em um critério de “pureza”, calculado a partir do Índice de Gini (VENABLES; RIPLEY, 2002).

O intervalo ou agrupamento de variáveis independentes com maior associação a uma decisão resultante constitui a primeira ramificação de uma árvore de decisão. A partir de então, novos agrupamentos subsequentes são realizados seguindo a mesma lógica até que não seja mais possível efetuar novas ramificações e o resultado seja alcançado (THERNEAU, 1983). O código do modelo consiste em um cálculo de regressão simples adaptado aos dados categóricos:

Figura 4.1. Trecho do código para geração de Árvores de Decisão.

```
rpart(decisao~preco_agricola+custo_producao+fiscalizacao_ambiental,  
      control = rpart.control (minsplitlevel = 15),  
      data = d,  
      method = "class")
```

Fonte: Produção da autora.

O diferencial desse método é que ele apresenta as variáveis seguindo uma ordem de relevância para que uma determinada decisão seja alcançada, tornando possível que para cada grupo se visualize, as variáveis mais relevantes no processo de tomada de decisão. Nesse método, todas as variáveis são consideradas, independente dos cenários. Assim, para facilitar a visualização das decisões de uso da terra em cada cenário, considerando cada grupo de produtor, os dados também foram plotados em gráficos de dispersão, oferecendo uma outra perspectiva para visualização dos resultados.

4.2. Resultados

4.2.1. Evidências oriundas dos questionários

A distribuição dos grupos de atores nos municípios onde o jogo foi aplicado evidencia características distintas relacionadas ao tipo de atividade desenvolvida e a aspectos da estrutura agrária. Em Sinop, por exemplo, 66% dos entrevistados eram pequenos proprietários agrícolas dedicados ao cultivo de soja, enquanto em Guarantã do Norte, 65% dos entrevistados eram pequenos produtores de leite, e em Novo Progresso 55% pertenciam ao grupo de grandes pecuaristas.

Tabela 4.2. Porcentagem de produtores entrevistados por grupo.

Grupo de produtores	% de entrevistados		
	Sinop	Guarantã do Norte	Novo Progresso
Grande produtor de soja	21%	5%	25%
Grande pecuarista	11%	5%	55%
Pequenos agricultor	66%	25%	8%
Pequeno pecuarista	2%	65%	12%

Fonte: Produção da autora.

Em Guarantã do Norte, 56% dos entrevistados declararam possuir título de terra, obtidos ainda no período de formação dos assentamentos. Em Novo Progresso, apenas 1% dos entrevistados possuíam o título de sua terra, alguns obtidos na década de 70 e outros obtidos recentemente através do programa Terra Legal. Em contrapartida, em Sinop, apenas 1% dos entrevistados não possui o título, o que provavelmente está relacionado ao histórico de ocupação do município e na forma como as terras eram negociadas entre empresas e agricultores. Dos entrevistados que não possuem título de terras, 43% são grandes proprietários e 57% são pequenos proprietários.

A titularidade da propriedade na região é de suma importância por ser um pré-requisito para acessar linhas de créditos específicas para agricultores rurais. Dos grandes proprietários de terra, 81% dos pecuaristas e 86% dos produtores de soja declararam depender dessas linhas de créditos. Enquanto que todos os entrevistados dos grupos de pequenos proprietários declararam depender diretamente de crédito para produzir. O grande problema de produtores sem títulos de terra e dependentes de crédito para produzir é que são levados a utilizar outras fontes de empréstimos, geralmente com taxas de juros acima da legalidade. De acordo com os entrevistados, a saída encontrada por produtores que não conseguem pagar as dívidas é a venda das propriedade à grandes produtores, evitando problemas na cobrança das dívidas e no caso de dívida com os bancos, evitando que a propriedade seja leiloada.

Em Sinop, o histórico de uso da terra dos produtores entrevistados está associado as lavouras como algodão e arroz, extração de madeira e à prática da pecuária. Atualmente os entrevistados dedicam-se ao cultivo de soja, à pecuária e em 15% dos casos, os produtores são considerados agropecuaristas, dedicando-se a ambas as atividades através de sistemas integrados ou em fase de transição da pecuária para a soja.

Em Guarantã do Norte, os produtores entrevistados têm em seu histórico de atividade ligado à prática da mineração de ouro, a pecuária e agricultura de subsistência, em especial o arroz, feijão e mandioca. No período da entrevista, a pecuária ainda era a atividade predominante no município (75% dos entrevistados), apresentando-se bem diversa, com sistemas de cria-recria, corte, reprodução, produção de leite e até intensificada e integrada com lavoura de soja. Grandes e pequenos produtores também começavam a se aventurar no plantio de soja, declarando estar em fase de expansão gradativa da cultura no interior da propriedade. Para 50% dos entrevistados dedicados à pecuária, os planos futuros incluíam o investimento na lavoura de soja, 15% pretendiam arrendar sua propriedade para outros produtores e 35% pretendiam continuar na pecuária.

Em Novo Progresso, o histórico de uso da terra dos entrevistados está associado à mineração do ouro, extração de madeira e pecuária. Dos entrevistados, 60% dedicam-se à pecuária, 25% fazem integração da pecuária com lavoura de soja e os demais 15% têm o cultivo da soja como principal atividade. Dos entrevistados, 90% dos grandes proprietários de terra manifestam interesse em investir na lavoura de soja, porém, considerando as limitações de aptidão agrícola da região. Dos pequenos proprietários de terra, apenas 20% revelaram possuir planos definidos para o futuro, nesse caso, prevendo o investimento em cultivo de soja ou optando por sistemas integrados lavoura-pecuária. Dos demais 80% dos pequenos produtores, 50% manifestaram interesse em arrendar a propriedade para outros produtores e mudar para a área urbana do município.

Quanto aos critérios para comercialização dos produtos agrícolas, as escolhas dos produtores parecem depender muito das condições logísticas locais. Sinop, por exemplo, é considerado um polo de negócios e serviços para o setor do agronegócio, ofertando mais opções de negociações para os produtores da região. Enquanto em Guarantã do Norte e Novo Progresso, no contexto do trabalho de campo, produtores relataram que as maiores demandas do setor agrícola estava na carência de infraestrutura logística. Pecuaristas precisavam transportar o gado para frigoríficos em cidades vizinhas e contava com poucos silos para armazenamento de grãos, arcando com maiores custos com transporte.

No quesito *custo de produção*, observou-se uma grande diferença entre grandes e pequenos produtores. Todos os grandes produtores de soja possuem total conhecimento dos seus custos de produção, mostrando familiaridade com funcionamento da bolsa de valores, noções de administração de negócios e capacidade de análise do mercado para escolher o melhor momento de negociação dos produtos agrícolas e da compra de seus fertilizantes, cujo preço também é definido pelo mercado internacional. Os grandes pecuaristas também demonstraram conhecimento sobre seus custos, mencionando o tempo máximo que gado deve ficar no pasto, o quanto se gasta com alimentação e cuidados e quanto o preço do boi deveria ser para cobrir seus custos.

Os pequenos agricultores que cultivam soja fazem seu controle de custo com base nas negociações com as empresas com as quais comercializam os grãos. Esses agricultores geralmente dependem dos “pacotes” agrícolas fornecidos pelas empresas, de onde recebem as sementes e todos fertilizantes e herbicidas necessários para a produção em troca de uma quantidade de soja. Esse grupo também mencionou um custo extra com a fase de plantio e colheita da soja, diante da impossibilidade de adquirir maquinário moderno, precisam alugar máquinas e custear mão de obra nessas etapas do ciclo de produção. Pequenos agricultores que dedicam-se à culturas de subsistência e venda de produtos no comércio local,

não demonstraram fazer controle dos custos de produção e tiveram dificuldade em simular mudanças nos custos durante o jogo.

Apenas 40% dos pequenos pecuaristas demonstraram controle dos custos, baseando-se no preço do sal para o gado e preço de matrizes. Os demais não tinham controle dos custos, mas tinham em mente preços fixos, geralmente definidos em conversa com produtores vizinhos, que servia de base para calcular quando o preço estava favorável, desfavorável ou impraticável.

Outros fatores com influência na decisão sobre o uso da terra foram destacados pelos entrevistados: a infraestrutura, entendida não só como as rodovias, mas também a disponibilidade de armazéns e serviços; e a vizinhança, entendida aqui em dois níveis: o vizinho próximo (propriedade vizinha) e a vizinhança local (entendida como os demais produtores do bairro ou município). A importância da infraestrutura está diretamente relacionada a diminuição dos custos com transporte e facilidade de acesso a serviços agrícolas e ao mercado. A importância da vizinhança se dá porque as atitudes de um produtor servem de exemplo para os demais produtores, principalmente quando se trata de uma mudança de atividade ou adoção de uma nova tecnologia.

4.2.2. Decisões reveladas

As decisões de uso da terra não foram apresentadas como opção de escolha durante o jogo, mas foram reveladas como resultados das alterações nas variáveis do jogo de decisão, resultando em seis decisões de uso da terra comumente tomadas na região:

- a) MANTÉM – não implica em mudanças de uso da terra e nas condições de posse da propriedade. Pode significar que o cenário gerado não influencia o produtor, ou que o produtor se enxerga estável nesse cenário, ou ainda, é cenário que pode ser considerado arriscado para

mudança no uso da terra, ou produtor não o considera interessante para mudança.

b) LIMPA – denominação usada pelos proprietários para se referir à retirada de vegetação para implantação de atividades agrícolas.

c) EXPANDE – se vê em condição de comprar ou arrendar propriedade de terceiros, seja pela disponibilidade de seu capital ou pelo aumento da oferta de propriedades a baixo preço.

d) ARRENDA/VENDE – condição em que um produtor disponibiliza sua propriedade para venda ou arrendamento. O que pode acontecer por diferentes razões, por exemplo, por falta de opção devido a necessidade de quitar dívidas; impossibilidade de dar continuidade a sua atividade; ou por enxergar no arrendamento uma possibilidade de negócio.

e) MUDA DE ATIVIDADE – o produtor realiza a transição para outro tipo de atividade agrícola, sendo a mais comum na região a transição da pecuária para a soja.

f) INTENSIFICA – o produtor se vê em condições de investir no aumento da produtividade sem “limpar” novas áreas. Foram citados pelos entrevistados os seguintes mecanismos de intensificação: pelos produtores de soja – investimento em tecnologia, melhores sementes e métodos como Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e Plantio direto; pelos pecuaristas – manejo de pastagem (recuperação e rotação), confinamento e semiconfinamento de bovinos, Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária.

Decisões pelo reflorestamento ou recuperação de áreas não foram manifestadas pelos entrevistados, mas foram mencionadas pelos aplicadores no final de cada experimento. Os produtores não manifestaram interesse em reflorestar alegando falta de retorno econômico ou carência de assistência técnica para reflorestamento. Também foi questionado sobre o investimento em outra atividade, o setor madeiro foi o mais mencionado como possibilidade, porém as burocracias para execução da atividade seria uma grande barreira ao investimento. Mais sobre essas questões serão discutidas no capítulo 6.

4.2.3. Valores sugeridos nos cenários

As classes de *intensa* e *baixa frequência de fiscalização* definidas pelos produtores resultaram no seguinte intervalo de probabilidade: *Baixa* - de 0 a 39% e *Intensa* – de 40 – 100% de chance de uma fiscalização ocorrer. Essa frequência de fiscalização é também compreendida, na perspectiva dos produtores, como a probabilidade de ser fiscalizado. Geralmente, as informações sobre essa probabilidade é obtida por meio de comunicações locais sobre a ocorrência de operações de fiscalização na região.

Os valores de preços agrícolas sugeridos pelos produtores são apresentados na Tabela 4.3, com a *moda* dos preços sugeridos. Em parêntese os maiores e menores preços mencionados e os valores máximos e mínimos obtidos no jogo. Os preços basearam-se nos produtos comercializados pelos diferentes grupos de produtores.

Tabela 4.3. Preços agrícolas sugeridos pelos produtores.

GRUPO DE PRODUTORES	VALORES CORRENTES ¹	PREÇOS ALTOS ¹	PREÇOS BAIXOS ¹
Grandes produtores de soja (60kg – uma saca de soja)	49 (46–60)	75 (70–81)	45 (40–55)
Grandes produtores de soja (60kg – uma saca de soja)	55 (50–55)	75 (65–80)	45 (43–48)
Grandes pecuaristas (uma arroba (@) 15kg de carne)	110 (108–115)	130 (130–160)	100 (100–110)
Pequenos pecuaristas (litro de leite)	1,10 (1,00–1,20)	1,30 (1,20–1,50)	1,00 (1,00–1,10)

¹ Moda – valores que mais se repetiram.

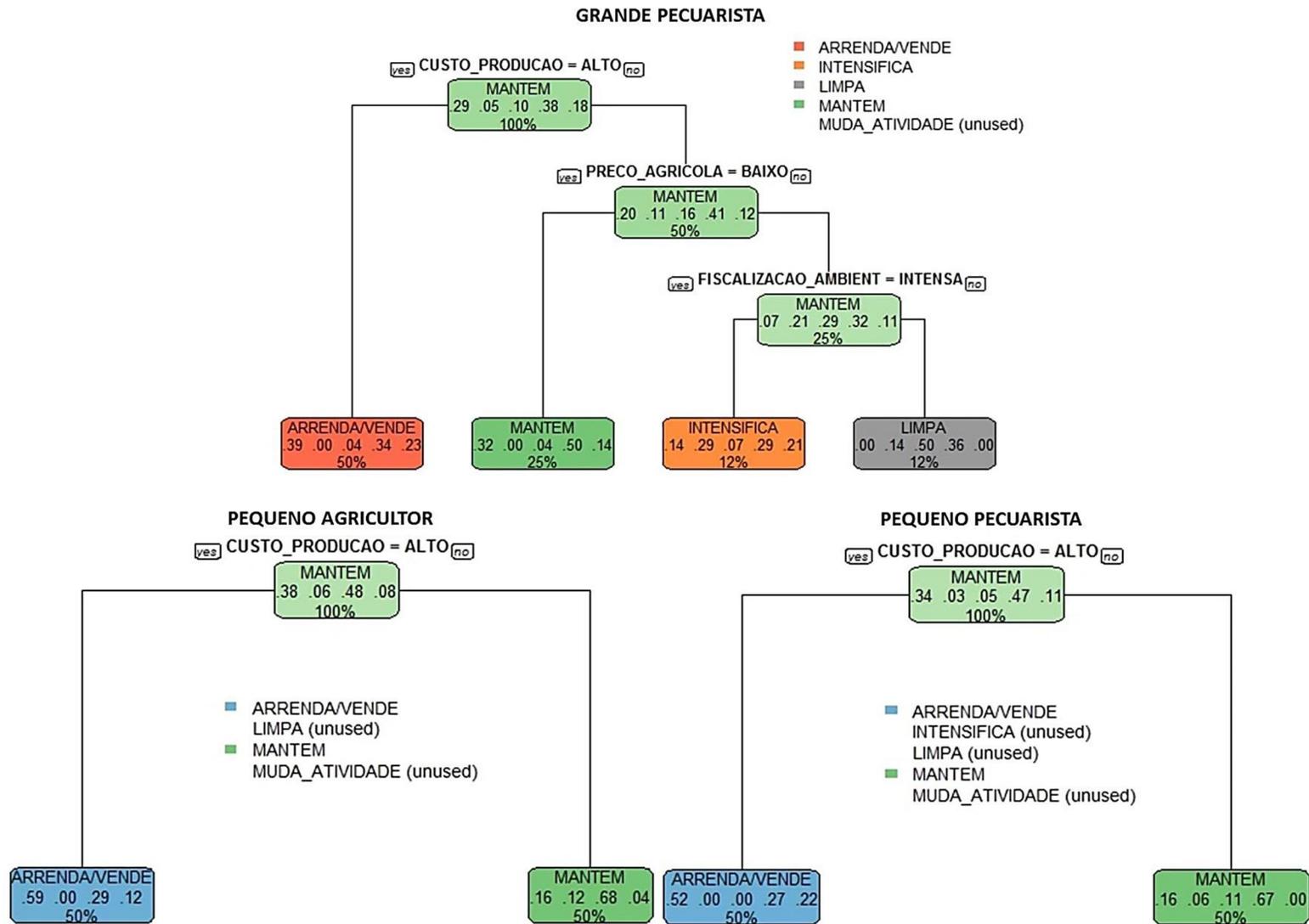
Fonte: Produção da autora.

4.3. Árvores de decisão

A distribuição das variáveis independentes (*preços agrícolas, custo de produção e frequência de inspeção ambiental*) e sua ordem hierárquica de influência sobre as decisões de uso da terra foram diferentes para cada grupo de produtores. O que indica que grupos de agricultores podem adotar diferentes estratégias para tomar uma decisão em resposta a mudanças nas condições econômicas e de aplicação da lei. O método de Árvore de decisão também só exibe os fatores mais significativos para uma decisão.

As árvores de decisão podem ser interpretadas da seguinte maneira, as caixas coloridas representam a decisão de uso da terra mais frequente para cada grupo. Os números absolutos exibidos dentro dessas caixas representam a distribuição das decisões entre os agricultores, assim, correspondem às decisões exibidas em cada legenda. Por exemplo, na árvore de decisão do grupo de *grandes pecuaristas*, na caixa roxa, correspondente a decisão “limpa”, os valores “.00, .50, .14, .36 e .00” corresponde respectivamente às decisões de “mudança de atividade”, “limpa”, “intensifica”, “mantém” e “vende/arrenda”, respectivamente. A maior probabilidade (.50) é referente à decisão “limpa”, a qual é destacada no fim da árvore (Figura 4.2).

Figura 4.2. Árvores de decisão pra três grupos de produtores entrevistados.



Fonte: Produção da autora.

Para o grupo de *grandes produtores de soja*, a decisão dominante foi a de ‘manter’ o uso da terra. O diferencial desse grupo é que a decisão pela manutenção do uso da terra foi dominante independentemente de mudanças nas variáveis do jogo. Isso impossibilitou a geração de árvore de decisão para esse grupo, porque o método de classificação não encontrou variações nos *preços agrícolas, custo de produção e frequência de inspeção ambiental* suficientemente significativas para que resultassem em mudanças nas decisões de uso da terra de acordo com esse método de análise.

No geral, os produtores deste grupo se mostraram mais relutantes em se envolverem em atividades de mudanças de uso da terra que podem ser consideradas infrações, mesmo em cenários de baixa fiscalização ambiental. Dentre as justificativas para esse comportamento, os produtores salientaram sua associação à Moratória da Soja, repelindo qualquer possibilidade de problemas infracionais e também mencionaram o alto investimento em tecnologia, maquinário e mão de obra qualificada exigida para a produção de soja, como motivo que tornaria mais difícil sua opção pela mudança de atividade, mesmo em cenários de altos custos de produção e baixos preços agrícolas.

Na árvore de decisão dos pequenos produtores, tanto os pecuaristas como os dedicados à lavoura, a variável de *custo de produção* é a que demonstrou maior influência nas decisões de uso da terra. As decisões mais comuns em ambas as árvores são: “mantém” o uso da terra – que é observado quando o custo de produção é favorável; ou “vende/arrenda” a propriedade - quando o custo de produção está em alta, podendo superar as condições de manutenção da atividade.

As demais decisões ocorrem em menor proporção, merecendo destaque a possibilidade de “limpar” que apresenta 12% de probabilidade de ser adotada por pequenos agricultores em cenários de baixo custo de produção. E a probabilidade

de “mudança de atividade” com 11% de probabilidade de ser adotada por pequenos pecuaristas em cenários de alto custo de produção.

Curiosamente, os grupos de pequenos agricultores apresentaram a maior dificuldade em determinar seus custos de produção durante o jogo, o que pode ter influenciado o resultado da árvore de decisão. Por outro lado, as decisões de “vender/arrendar” a propriedade em cenários de aumento do *custo de produção* eram frequentemente justificadas pela dificuldade de financiar os investimentos iniciais necessários para iniciar um novo ciclo de produção.

A árvore de decisão dos *grandes pecuaristas* também destaca o predomínio da influência dos *custos de produção* sobre decisões de uso da terra. Para cenários de alto *custo de produção*, 50% dos agricultores podem optar por “vender/arrendar” suas propriedades, enquanto os demais 50% levam em consideração os *preços agrícolas* e a *frequência de fiscalização ambiental* para tomar decisões. Nesse caso, quando o custo de produção está alto, mas os preços agrícolas também estão em alta, a probabilidade da decisão por “manter” é de 25%. Porém, no mesmo cenário de custo de produção alto, quando os preços agrícolas estão baixo, os produtores consideram a frequência de fiscalização ambiental para decidirem se “intensifica” ou “limpa”.

4.4. Representação gráfica dos cenários e decisões

As decisões tomadas em cada cenário por cada grupo de produtor também foram demonstradas em gráficos de dispersão, como um método alternativo de visualizar os resultados (Figura 4.3). Cada decisão está representada por um símbolo, no eixo vertical estão as probabilidades de cada decisão ser tomada e no eixo horizontal, os cenários descritos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Descrição das variáveis em cada contexto.

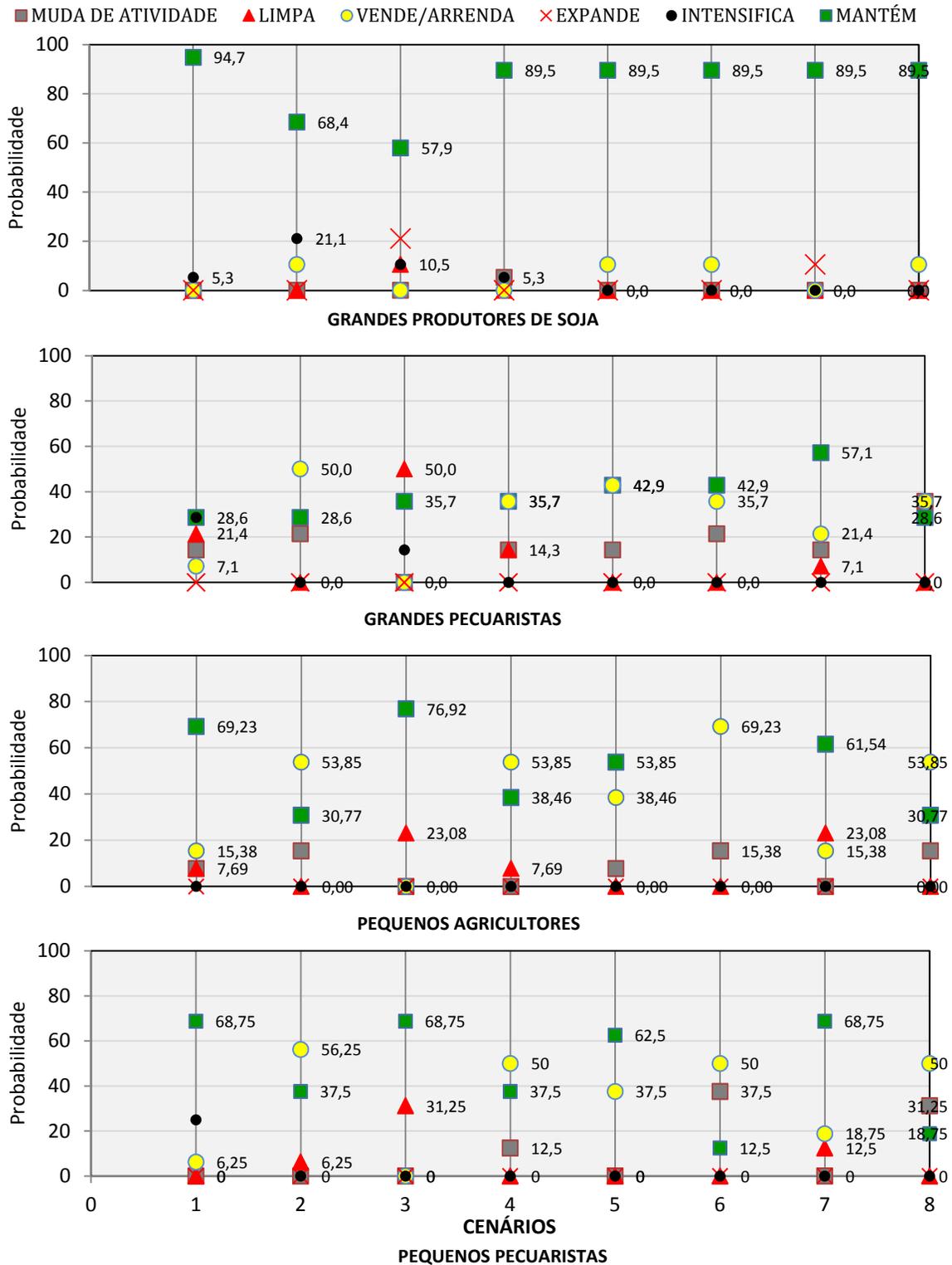
CENÁRIO	PREÇOS AGRÍCOLAS	CUSTO DE PRODUÇÃO	FREQUÊNCIA DE FISCALIZAÇÃO AMBIENTAL
1	Altos	Baixo	Intensa
2	Altos	Alto	Intensa
3	Altos	Baixo	Baixa
4	Altos	Alto	Baixa
5	Baixos	Baixo	Intensa
6	Baixos	Alto	Intensa
7	Baixos	Baixo	Baixa
8	Baixos	Alto	Baixa

Fonte: Produção da autora.

Para o grupo de *grandes produtores de soja*, a decisão “mantém” foi a escolha mais frequente, independentemente do cenário (Figura 4.3). As altas probabilidades para essa decisão só apresentaram variações nos Cenários 2 e 3. No Cenário 2, com *preços agrícolas em alta*, assim como os *custos de produção e frequência de fiscalização ambiental*, o que revelou um aumento da probabilidade de decisões pela “intensificação” (21%) e “venda/arrendamento” da propriedade serem tomadas (10,5%).

No Cenário 3, os preços continuam altos, porém, os *custos de produção e a frequência de fiscalização ambiental* estão *baixos*. Nesse cenário a opção pela manutenção do uso da terra é a menor dentre todos os cenários (57%), induzindo o aumento da probabilidade por “expande” (21%), “intensifica” (10,5%) e “limpa” (10,5%).

Figura 4.3. Gráficos de dispersão com cenários.



Fonte: Produção da autora.

As decisões mais comuns reveladas pelos *grandes pecuaristas* são: “mantém”, “vende/arrenda” e “muda de atividade”. A decisão por manter o uso da terra está presente em todos os cenários, mas sua maior probabilidade (57%) de ocorrer é revelada no Cenário 7, onde apesar da *frequência de fiscalização* ser considerada *baixa*, os *preços agrícolas* e o *custo de produção* também estão *baixos*.

No Cenário 2, o *alto preço agrícola* não compensa o *alto custo de produção* e a *alta frequência de fiscalização ambiental*, resultando na maior probabilidade de “venda/arrendamento” da propriedade dentre todos os cenários (50%). Nesse cenário, também merece destaque a decisão pela mudança de atividade, que apresenta uma probabilidade de 21% de ocorrer, a mesma probabilidade apresentada no Cenário 6, quando a *frequência de fiscalização ambiental* e *custo de produção* estão em *alta* e os *preços agrícolas* *baixos*, representando um contexto desfavorável para a atividade.

Ainda na árvore de decisão dos grandes pecuaristas, a opção por “limpar” (desflorestar) estão presentes nos Cenários 1, 3 e 4, quando os *preços agrícolas* estão elevados. No entanto, a maior probabilidade de limpeza é revelada no Cenário 3, onde *altos preços agrícolas* e *baixo custo de produção* podem oferecer boas possibilidades de ganho para o produtor, somado a baixa frequência de fiscalização ambiental, que parece aumentar a tendência pelo desflorestamento diante da diminuição do risco de ser punido.

As árvores dos grupos de pequenos proprietários apresentam a distribuição das decisões de forma semelhante, com preponderância das opções por “mantém” e “vende/arrenda” a propriedade. Nos Cenários 1, 3, 5, 7, quando o *custo de produção* está baixo, a decisão por não realizar mudanças no uso da terra é predominante (mantém – de 54% a 76% para os pequenos agricultores e de 62,5% a 69% para os pequenos pecuaristas). Enquanto que nos cenários 2, 4, 6,

8 que representam cenários onde o contexto econômico não é tão favorável, a decisão pela venda ou arrendamento da propriedade é preponderante.

Para ambos os grupos, é nos Cenários 3 e 7, quando a frequência de fiscalização está baixa, que a probabilidade de “limpeza” aumenta, apresentando no Cenário 3, 23% de chance de ser tomada por pequenos agricultores e 31% por pequenos pecuaristas. No Cenário 7, a decisão por “limpeza” é de 15,5% chance de ser tomada por pequenos agricultores e 12,5% por pequenos pecuaristas.

Devido à diferença histórica, de distribuição de produtores e condição logística, buscou-se por peculiaridades nas decisões reveladas por integrantes de um mesmo grupo de produtor residente em municípios diferentes. No entanto, , o mesmo padrão de decisões diante dos diferentes incentivos de mercado e frequência de fiscalização foi revelado por agricultores pertencentes ao mesmo grupo em todos os municípios.

4.5. Discussão

O estudo de grupos locais e focais dos agentes que promovem mudanças no uso da terra é fundamental para entender melhor o processo de tomada de decisão e seus aspectos políticos, podendo responder questões, por exemplo, sobre como a efetividade das políticas de conservação se difere no espaço e no tempo, sob quais condições é mais eficaz e, portanto, onde e como devem ser enfatizadas (BÖRNER et al., 2016).

Na classificação de fronteira sugerida por Schielein e Börner, (2018), baseada na dinâmica de uso da terra nos municípios amazônicos, Sinop estaria localizada na antiga fronteira agrícola, cuja dinâmica de uso da terra é caracterizada por menores taxas de perda florestal e boas condições logísticas. Enquanto que Guarantã do Norte e Novo Progresso estariam na nova fronteira, onde a dinâmica

do desmatamento e a expansão agrícola são mais intensas. Embora a região estudada compreenda diferentes classificações de fronteira, não foi observado diferenças nos padrões de decisão de uso da terra dos diferentes grupos de entrevistados. O que pode estar relacionado ao tamanho da amostra, a escala espacial do trabalho, que pode englobar dinâmicas homogêneas, ou ainda a uma dinâmica própria regional, onde a lógica de tomada de decisão dos atores converge em função da prática de atividades similares na região. Nessa perspectiva, a diferença nos padrões de mudança de uso da terra regional, pode estar mais associada à distribuição dos diferentes grupos de produtores e suas estratégias próprias, do que por diferentes estratégias econômicas relacionadas à localização ou estágio de avanço da fronteira agrícola.

Embora, estudos tenham focado na relação direta entre os preços de commodities agrícolas e mudanças no uso da terra (ASSUNÇÃO et al, 2012; HARGRAVE; KISKATOS, 2013), os resultados obtidos no experimento de campo apontam também para a importância do custo de produção na tomada de decisão. Nessa perspectiva, enquanto preços agrícolas mais altos poderiam acabar compensando custos mais altos, os agricultores percebem as mudanças de custo como um fator mais importante do que a margem de lucro, mas como condição para que novos ciclos agrícolas sejam possibilitados. Esse resultado também pode estar associado à dificuldade dos produtores em contabilizar seus custos, ou ainda a comum falta de capital de giro na atividade, que faz com que muitos produtores aguardem melhores preços dos inputs agrícolas para iniciar um novo ciclo produtivo. De todo modo, comente uma análise mais aprofundada poderia confirmar as causas da importância dos custos de produção nas decisões, se essa importância é particular aos agricultores entrevistados, ou se reflete uma mudança de comportamento dos agricultores nas áreas de fronteira moderna, onde se exige melhor administração da atividade, como observado por Frederico (2011).

Observou-se que os agricultores de diferentes grupos podem responder de forma diferente às mudanças na aplicação da lei, no entanto, contrariamente a expectativa inicial, a frequência de fiscalizações ambientais foi o fator com menor influência nas decisões de uso da terra. Segundo os agricultores, esse resultado se deve às possibilidades de contestação judicial das multas aplicadas pelo IBAMA, à anulação do processo legal após três anos sem movimentação jurídica, às possíveis medidas governamentais de perdão aos infratores e ao senso generalizado de que o não pagamento de multas não implicaria em grandes consequências financeiras (desde que não seja exigida por mecanismos alternativos). De acordo com relatórios de gestão do IBAMA, apenas 12% (2.108) das 17.410 multas emitidas em 2016 foram pagas (IBAMA, 2017), o que além de evidenciar sérios problemas no trato das penalidades ambientais, também corrobora para a expectativa de impunidade e queda no efeito de dissuasão de infrações esperada pelos mecanismos de comando e controle, como as fiscalizações ambientais, conforme alertado por Schmitt (2015).

Desde o lançamento da Moratória da soja, a maior parte da expansão observada da soja na Amazônia brasileira ocorreu em áreas de pastagem antigas (GOLLNOW; LAKES, 2014; MORTON et al., 2016), provavelmente desencadeando um efeito de transbordamento negativo que levou as atividades de pastagem para áreas de floresta de baixo preço da terra (ARIMA et al., 2011; BARONA et al., 2010). Observações do jogo de decisão parecem corroborar com tal fenômeno, uma vez que a venda ou arrendamento da propriedade mostrou-se como uma decisão muito frequente entre os dois grupos de pecuaristas em cenários de intensa fiscalização ambiental.

Outro aspecto interessante associado ao mercado de terras e que também foi observado por Richards et al. (2014) e Koch et al. (2019), está no efeito de valorização de terras após as restrições impostas pela Moratória da soja. A busca por “propriedade legais” com áreas disponíveis para produção inseriu uma nova

lógica nas negociações de terra locais, onde o valor de uma propriedade é contabilizado sobre a área “aberta” ou já disponível para produção, não se dando grande importância às áreas florestadas, consideradas improdutivas. Somado a isso, a anistia concedida aos proprietários de terra que desflorestaram, mesmo que ilegalmente, antes de 2008, fez com que esses pudessem usufruir mais da valorização da sua propriedade do que os que cumpriram a legislação ambiental. Durante as entrevistas, proprietários que ainda dispunham de grande porcentagem de floresta em suas propriedades, declaravam-se lesados pelo Estado, pois no ato de cumprir com as normas legais, acabaram dispondo de áreas menores para produção e propriedades desvalorizadas em comparação aos que descumpriram a lei.

Por outro lado, os resultados obtidos nesse trabalho também sugerem um potencial efeito colateral secundário e positivo da Moratória da Soja, também associado ao mercado de terras. Os pecuaristas com possibilidade de venda da propriedade, demonstraram preocupação em realizar desmatamento ilegal, devido à possibilidade do registro de infração ambiental desvalorizar suas propriedades e, assim, comprometer futuras transações de terras com produtores de soja. Nesse caso, os compradores precisam levantar o histórico legal da propriedade antes das negociações, já que processos ambientais são transferidos para o comprador no ato da aquisição da propriedade.

Da mesma forma, as respostas dos produtores de soja indicam que a moratória foi um fator chave que influenciou as decisões de uso da terra na área de estudo, pois comprometeu a lucratividade associada à conversão ilegal de uso da terra por restrições de acesso a mercados e isso se refletiu diretamente no predomínio das opções predominantes pela manutenção do uso da terra em todos os cenários simulados. Porém, ainda cabe investigar se essa conduta se origina em uma mudança de comportamento resultante de anos de cumprimento da Moratória ou

se apenas atende à obrigatoriedade, não permanecendo em caso de extinção do mecanismo.

A decisão pela intensificação foi menos frequente do que o esperado. Embora os produtores demonstrassem conhecimento sobre os benefícios de sistemas alternativos de produção como o manejo de pastagem e confinamento, o aumento dos custos, dificuldades logísticas e a falta de assistência técnica especializada foram citados como os principais entraves à adoção de sistemas de intensificação, parecendo muito mais plausível para o produtor optar pela adoção de técnicas tradicionais.

Apesar de o experimento elucidar algumas questões importantes para entender a dinâmica de uso da terra regional, algumas ressalvas se aplicam aos resultados desse experimento. Primeiramente, a fim de manter o Jogo de Decisão gerenciável para os agricultores, foi necessário limitar o número de variáveis independentes e cenários correspondentes em categorias simples. Por outro lado, o método tem um grande potencial de oferecer respostas rápidas e diretas sobre possíveis mudanças em fatores externos considerados cruciais para mudanças de uso da terra na Amazônia.

Em segundo lugar, dado o número relativamente pequeno de observações, não pudemos incluir covariáveis adicionais, como características individuais de fazendas, na análise de Árvore de decisão, por essa razão, para a análise adotou-se apenas os grupos de produtores. Finalmente, também se deve considerar que as respostas dos agricultores às mudanças nas três variáveis de decisão podem ter sido influenciadas por eventos e iniciativas em andamento na área de estudo, descritas anteriormente na sessão de contexto do trabalho de campo.

4.6. Conclusão do capítulo

Este capítulo teve como objetivo demonstrar o processo de tomada de decisão sobre uso da terra de agricultores locais, baseando-se em um experimento de jogo de decisão, aplicado em três municípios que compõe a área de estudo desse trabalho: Sinop, Guarantã do Norte e Novo Progresso. No jogo, os produtores avaliaram cenários hipotéticos de incentivos de mercado e fiscalização ambiental para manifestar decisões de uso da terra.

As principais decisões de uso da terra reveladas nessa etapa do experimento foram: (1) “mantém” ou (2) “intensifica” o uso atual da terra, (3) “muda de atividade” (4) “vende / arrenda” a propriedade, (5) “limpa” a floresta dentro do lote, e (6) “expande” sua área produtiva através de compra de terra. No jogo de decisão, oito cenários foram gerados a partir de variações simples em suas variáveis: altos/baixos preços agrícolas e custos de produção e intensa e baixa frequência de fiscalização ambiental.

Não foi observado diferenças nos padrões de decisões de uso da terra entre os agricultores dos mesmos grupos nos diferentes locais de aplicação do jogo e realização das entrevistas, contudo os grupos responderam de forma diferente aos cenários simulados no jogo.

O *custo de produção* foi a variável mais importante para a tomada de decisão, de acordo com as respostas dos grupos de pecuaristas e pequeno agricultores. Em contrapartida, a frequência de fiscalização ambiental foi considerada a variável que exerce menor influência no processo de tomada de decisão sobre o uso da terra. Contudo, na visualização das decisões por cenários é possível identificar contextos onde a intensa frequência de fiscalização influencia decisões, especialmente para mudanças de atividade.

No que concerne à relação entre aspectos políticos e incentivos de mercado, os resultados obtidos permitem afirmar que apesar das crescentes evidências da eficácia das políticas de combate ao desflorestamento na Amazônia, os fatores econômicos continuam a ser fatores determinantes sobre as decisões de uso da terra ao longo da BR-163. O que torna imperativa a conexão das políticas públicas a mecanismos de mercado, como os que limitam o acesso ao mercado e ao crédito por parte de infratores.

Aspectos sobre a tomada de decisão sobre o uso da terra regional destacadas nessa etapa do trabalho, podem ser importantes para formuladores de políticas públicas e planejamento de ações de gestão territorial setorializadas. A importância de se compreender melhor os processos de tomada de decisão de uso da terra de atores locais e suas respostas a mudanças em fatores exógenos, também pode auxiliar no desenvolvimento de modelos de uso da terra que leve em conta o processo de tomada de decisão e possíveis mudanças de comportamentos diante de diferentes contextos futuros, permitindo a geração de cenários mais condizentes com a realidade regional.

5. MODELANDO DECISÕES DE USO DA TERRA COM REDES BAYESIANAS

A partir do entendimento das decisões de uso da terra como um fator crucial para compreender dinâmicas e tendências de mudanças, espera-se cada vez mais que modelos de simulação integrem a componente humana no processo de modelagem, especialmente, os processos associados as tomadas de decisões em nível local (VERBURG et al., 2015a). Estudos têm avançado nesse sentido, adotando ou adaptando métodos inovadores para simular mudanças de uso da terra, pautados na participação de diferentes grupos de atores ou acoplando narrativas qualitativas a modelos quantitativos e de sistemas naturais (CELIO; GRÊT-REGAMEY, 2016; CELIO et al, 2014; JAKKU; THORBURN, 2010).

Neste capítulo é apresentado um método de simulação baseado na abordagem de Redes Bayesianas (BN), considerada um método inovador para simulação e geração de cenários de uso da terra (MARCOT; PENMAN, 2019). Sua abordagem se difere dos demais métodos de simulação devido à capacidade de representar o conhecimento (opinião ou “crença”) de atores locais e a possibilidade de estabelecer relações causais entre variáveis, baseadas em evidências ou informações primárias (MALLAMPALLI et al., 2016).

Apesar da crescente adoção de RBs em diversos campos de pesquisa (AGUILERA et al., 2011; BARTON et al., 2012; LANDUYT et al, 2016), o número de estudos que adotaram essa abordagem para simular mudanças de uso da terra ainda é limitado (AALDERS, 2008; CELIO et al, 2014). Embora RBS apresentem excelente capacidade de adaptação a problemas específicos, podendo ser adotadas nas mais variadas áreas, aplicações de RB em estudos no Brasil têm sido realizadas, especialmente, em análises estatísticas na área de saúde (CARVALHO; CHIANN, 2013; MONTEIRO et al., 2016) e na área sensoriamento remoto (LISBOA, 2017; SIMÕES et al, 2017).

O modelo aqui concebido foi adaptado para a simulação de mudanças de uso da terra regional, baseada nas decisões de atores locais, tendo como fundamento os resultados obtidos nas entrevistas e no Jogo de decisão e em observações sobre a dinâmica de uso da terra na região. No levantamento bibliográfico sobre aplicação de RB para análises de uso da terra no Brasil, não se encontrou registros da aplicação de RBs para simulação de decisões e nem para a geração de cenários de uso da terra no país.

5.1. O teorema de Bayes

Para entender a lógica das Redes bayesianas, é preciso conhecer o teorema (ou regra) de Bayes. Esse teorema possui enorme importância no campo da estatística e da teoria da probabilidade. Sua principal contribuição está na capacidade de atualizar cálculos de probabilidade baseando-se em informações ou evidências que se tem sobre um evento (CAVES et al, 2002).

Essa informação também é conhecida como “crença”, “confiança” ou “evidência”. A mensuração ou, simplesmente, o grau dessa “confiança” baseia-se nas informações que um observador dispõe sobre um evento, sem que tenha realizado uma experimentação ou análise de seus dados. Por essa razão, a abordagem bayesiana na estatística é geralmente descrita como a mensuração (ou distribuição) probabilística da incerteza (GELMAN, 2008).

A primeira distribuição probabilística calculada sem considerar evidências ou o conhecimento prévio sobre um evento é chamada de *probabilidade a priori*, enquanto que a distribuição de probabilidade após a inserção de evidências é chamada de *probabilidade a posteriori*. O valor da probabilidade *a posteriori* é alcançado através da aplicação da regra de Bayes (NEAPOLITAN, 2004), descrita da seguinte forma:

$$P(A/B) = \frac{P(B/A)P(A)}{P(B)}$$

Onde $P(A/B)$ representa a probabilidade a posteriori;

$P(B/A)$ é a probabilidade condicionada de B a A;

$P(A)$ é a probabilidade a priori;

E $P(B)$ é a probabilidade sugerida pelas informações ou evidências.

No campo da estatística, o teorema de Bayes é considerado especialmente subjetivo, devido o modo como a distribuição das probabilidades *a posteriori* é realizada. No entanto, a abordagem bayesiana tem dado grande contribuição às análises estatísticas de casos onde não se dispõe de grande quantidade de dados ou ainda, onde se tem conhecimento sobre um evento que é capaz de afetar a distribuição de probabilidades. A aplicação dessa abordagem em análises de uso da terra é capaz de suprir lacunas de informação, permitindo que variáveis importantes na dinâmica de uso da terra sejam consideradas, mesmo diante de indisponibilidade de dados.

5.2. Redes Bayesianas e suas aplicações de análises de uso da terra

A distribuição de probabilidades, a organização de variáveis e suas relações de causa e efeito podem ter sua representação facilitada por *grafos*, onde um conjunto de nós e setas são organizados para representar as variáveis e suas interações. Os grafos podem ser considerados diretos – quando representam relações diretas entre variáveis através de setas dirigidas, ou indiretos - quando não apresentam links definidos (PEARL, 2000).

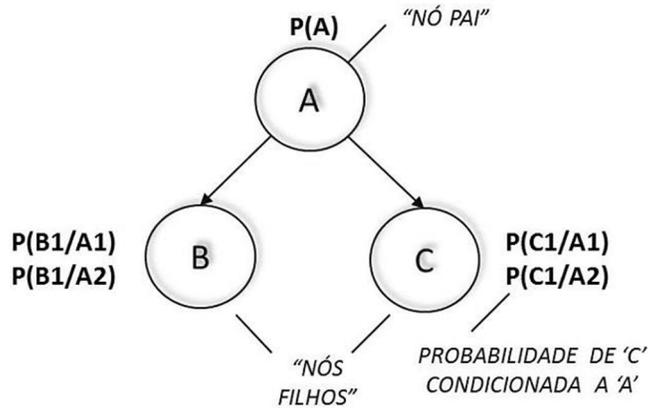
Os grafos diretos podem ser classificados como cíclicos – quando representam processos onde existe retroalimentação ou ciclos, ou acíclicos - onde as variáveis causais são organizadas hierarquicamente, recebendo a denominação de “nós

pais” e “nós filhos” para representar o tipo de relação entre as variáveis. Os grafos diretos são frequentemente utilizados para representar situações onde a relação causal entre variáveis ou a ordem temporal das relações entre variáveis são importantes. É nesse último grupo de grafos que as Redes Bayesianas são classificadas, como um *Grafo Acíclico Direto* - DAG (PEARL, 2000).

As redes bayesianas também são conhecidas como “Bayesian Beliefs Networks” ou “Bayes Nets”. São representadas por uma cadeia de relações causais referentes às etapas de funcionamento de um sistema ou evento (na perspectiva de quem constrói a rede). Possui três características importantes balizadas no teorema de Bayes: a forma subjetiva como as informações de entrada são inseridas; sua capacidade de adaptação e atualização a novas informações; e a distinção entre raciocínios causais e evidências (PEARL, 1985).

As variáveis em uma rede bayesiana devem ser discretas e condicionalmente independentes. Cada variável é representada por um “nó” e ligada a outras variáveis através de setas direcionadas (Figura 5.1), as quais representam a relação ou a dependência probabilística entre variáveis (NEAPOLITAN, 2004). Cada “nó” ou variável possui suas informações dispostas em um formato de tabelas de probabilidade condicional, onde a influência ou tipo de interação entre variáveis são definidas.

Figura 5.1. Exemplo de uma Rede bayesiana básica.



Fonte: Produção da autora.

Embora não seja obrigatório, a estrutura de uma rede bayesiana geralmente segue uma lógica baseada em causalidade, o que a torna mais transparente, confiável e compreensível. Esta estrutura também possibilita melhor visualização de cada variável e sua resposta a alterações externas, ou seja, como a mudança em uma variável ou a inserção de uma nova informação afeta a distribuição das probabilidades nas variáveis seguintes (PEARL, 2000).

5.3. Método

5.3.1. Dados e pré-processamento

A base de dados adotada no modelo é composta pelas informações obtidas em campo e dados espaciais de uso da terra, infraestrutura e aspectos biofísicos. Os dados foram organizados em quatro grupos de acordo com o tipo de influência que exercem nas decisões de uso da terra.

- 1) Variáveis oriundas do jogo de decisão – preços agrícolas, custo de produção e frequência de fiscalização ambiental.

- 2) Critérios agrícolas – conjunto de variáveis adotadas com a função de limitar algumas de decisões de uso da terra, de acordo com as características biofísicas essenciais para a adoção da atividade agrícola;
- 3) Acessibilidade – conjunto de variáveis com dados de infraestrutura de circulação e serviços para agropecuária.
- 4) Variáveis com a função de alocação – conjunto de variáveis com informações espaciais dos tipos de produtores, classes de uso da terra e categorias fundiárias. Importantes para determinar como cada tipo de decisão afeta o uso da terra existente em cada tipo de propriedade.

Detalhes sobre os dados de entrada podem ser visualizado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Descrição dos dados de entrada no modelo.

DADO		DESCRIÇÃO	FONTE
PRODUTORES		Criado a partir da interseção de mapas de uso da terra e do limite de propriedades privadas registradas no INCRA ou simuladas no Atlas Agropecuário do IMAFLORA. Foram definidos cinco grupos de produtores para representação espacial: (1) Grandes pecuaristas – para propriedades maiores que quatro módulos fiscais com predominância de pastagem; (2) ‘Grandes produtores de soja – para propriedades maiores que 4 módulos fiscais, com predominância da agricultura anual; (3) Pequenos pecuaristas – para propriedades com tamanho inferior a quatro módulos fiscais e com predominância de pastagens; e (4) Pequenos agricultores agrícolas- para propriedades com tamanho inferior a quatro módulos fiscais com predominância de agricultura anual ou classe agrícola indefinida. Também adotou-se uma classe denominada (5) “indefinida” para representar propriedades com mais de 90% de floresta e baixa transição entre classes de uso da terra.	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural – SICAR / Atlas Agropecuário- IMAFLORA / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA
CONJUNTO DE DADOS CRITÉRIOS AGRÍCOLAS	RELEVO	Três classes de declividade baseadas em demandas de aptidão agrícola para agricultura mecanizada e pecuária: APTO (de 0% a 8% de declividade), MODERADO (9% a 20%) e INAPTO (> 21%).	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA
	CLIMA	Classificação climática de Köppen, baseada na distribuição de temperatura e precipitação.	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE
	SOLO	Base do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, a partir da qual foram definidas três classes: BOA (boa adequação para a agricultura), MODERADA (necessidade de correção para práticas agrícolas) e RUIM (inapta para a agricultura)	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE
CONJUNTO DE	DISTÂNCIA A ÁREAS URBANAS	Produzido a partir do mapa de distância euclidiana ² para áreas urbanas classificadas pelo TERRACCLASS / INPE-EMBRAPA)	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

continua

² A distância euclidiana refere-se à distância métrica calculada de um ponto a outro em uma linha reta, aplicando o Teorema de Pitágoras. Os mapas de distâncias euclidean consideram um ponto de origem no mapa a partir do qual uma distância será calculada em uma linha reta até outro ponto.

Tabela 5.1. Conclusão.

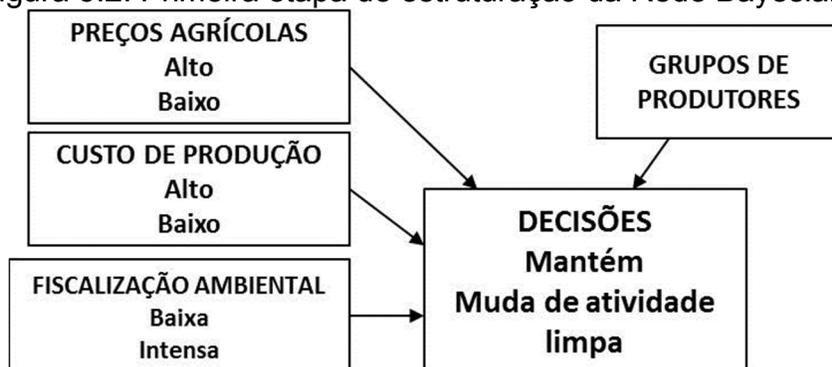
	DISTÂNCIA A SILOS	Gerado a partir da distância euclidiana aos silos mapeados no trabalho de campo e a localização informada pelas empresas de serviços de armazenamento.	Armazéns mapeados em campo
	DISTÂNCIA A RODOVIAS	Gerado a partir da distância euclidiana às rodovias	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE
	MAPA DE USO DA TERRA	Base de dados do projeto TerraClass para os anos de 2008, 2010, 2012 e 2014. As classes de uso do solo foram adaptadas para seis classes: (1) Floresta, (2) Agricultura anual, (3) Pastagem (4) Uso agrícola não definido (união das classes de mosaico de ocupação, desmatamento e classes de vegetação secundária do TerraClass), (5) área urbana e (6) outros (classes nuvens, afloramentos rochosos, água, não floresta, área não observada).	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA
	CLASSES FUNDIÁRIAS	Áreas protegidas, Assentamentos, Propriedades privadas e áreas sem destinação (livre)	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA
	VIZINHANÇA	Gerado a partir do cruzamento do mapa de distância euclidiana para culturas anuais e o limite de propriedades privadas. Foi adotado o método <i>zonal statistics</i> , disponível no pacote <i>maptools</i> do software R (R TEAM, 2017), que transforma múltiplos valores de um raster ou de um conjunto de rasters em um valor único para cada zona. Foram criadas duas classes de vizinhança: pratica – propriedades em torno de áreas com agricultura anual, e não pratica – propriedades em torno de áreas sem agricultura anual. Nesse caso, considerou-se apenas agricultura anual porque o principal efeito de vizinhança nas decisões era para a mudança de atividade de pecuária para soja.	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

Fonte: Produção da autora.

5.3.2. Construção da Rede bayesiana

Existem alguns softwares livres que permitem a construção de Redes bayesianas (RBs) para os mais variados fins. Neste trabalho foi utilizado o software GeNie na versão acadêmica, desenvolvido pela empresa americana BayesFusion (BAYESFUSION, 2018). Na *primeira etapa* de estruturação da BN, as decisões de uso da terra oriundas do jogo de decisão foram traduzidas para uma Tabela de Probabilidade Condicional (CPT), de acordo com o grupo de produtor entrevistado e as vinculando as variáveis consideradas no jogo de decisão (Figura 5.2).

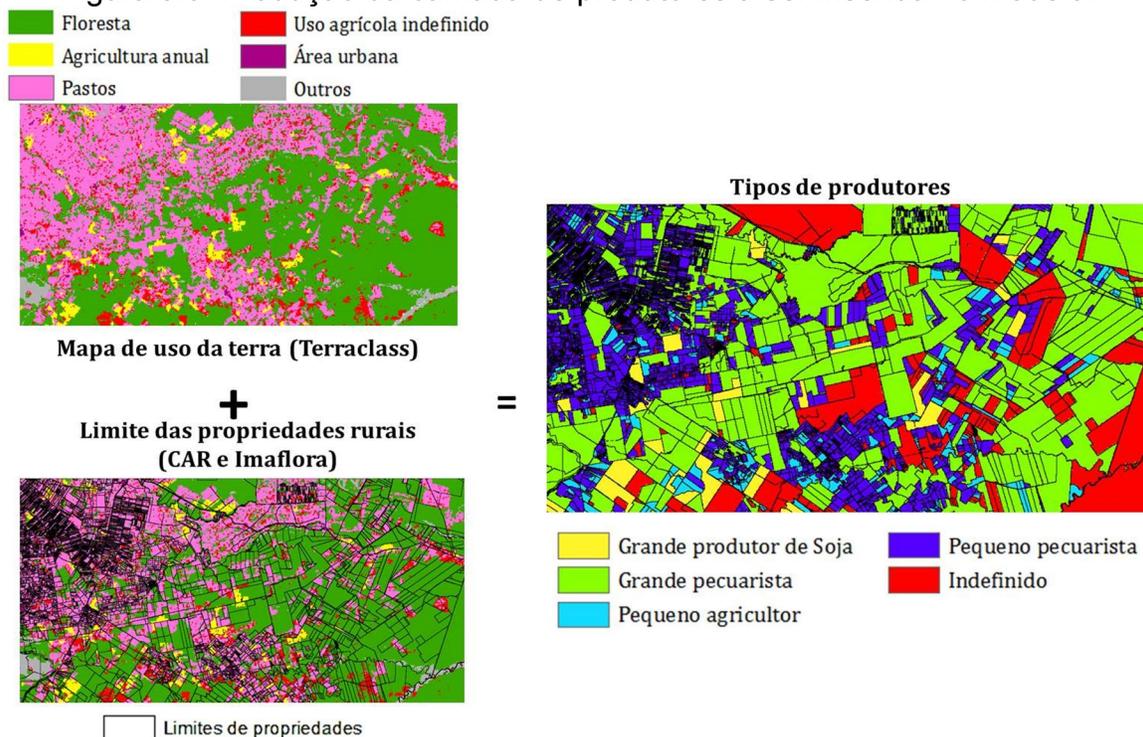
Figura 5.2. Primeira etapa de estruturação da Rede Bayesiana.



Fonte: Produção da autora.

Para gerar a camada de produtores foram cruzados o mapa de uso da terra e os limites das propriedades cadastradas no CAR e simuladas pelo IMAFLORA. As categorias de uso da terra predominantes e o tamanho da propriedade definiam o tipo de produtor para cada pixel (Figura 5.3).

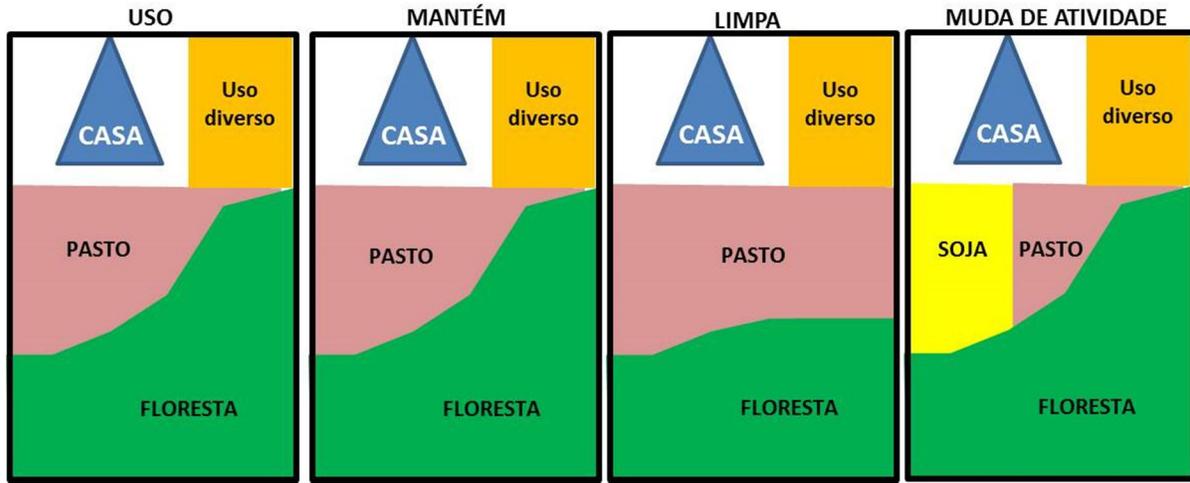
Figura 5.3. Produção da camada de produtores a ser inserida no modelo.



Fonte: Produção da autora.

Nessa etapa do trabalho, apenas três decisões foram consideradas: mantém, limpa e muda de atividade. Entende-se que estas decisões refletem mudanças diretas nos padrões de uso da terra, mais passíveis de representação no modelo, do que as decisões que envolvem compra e venda de terras (decisões “expande” e “vende/arrenda”) e a decisão pela intensificação, que também não foi considerada nessa fase, devido à baixa ocorrência de práticas de intensificação na região, porém, será integrada ao modelo na etapa de cenários. Na Figura 5.4 pode ser visualizado um exemplo do que acontece com o uso da terra nas propriedade para cada decisão considerada no modelo.

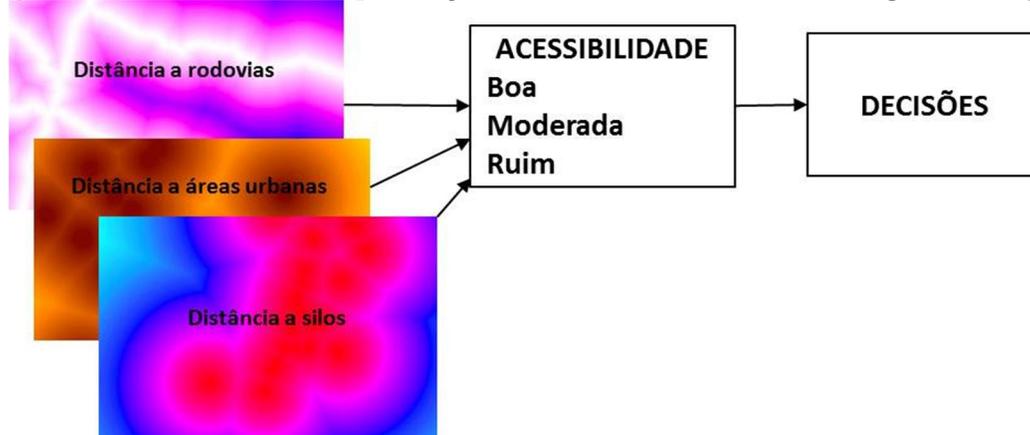
Figura 5.4. Exemplo da dinâmica de usa da terra no interior de uma propriedade de acordo com cada decisão.



Fonte: Produção da autora.

Na *segunda etapa*, o conjunto de dados referentes à *acessibilidade* e as variáveis de *vizinhança* foram inseridas. A criação do conjunto de dados de *acessibilidade* para englobar as variáveis: *distância a rodovias*, *distância a silos* e *distâncias as áreas urbanas*, tem a função de criar classes com diferentes níveis de influência sobre as decisões. Essa influência é determinada através da distribuição de probabilidades, também chamados de parametrização. Isso foi necessário porque nas RBs, o dado de entrada deve ser categórico enquanto que as variáveis mencionadas são contínuas. Além disso, a ligação direta de cada variável a uma decisão específica poderia resultar em tabelas de probabilidade condicional muito extensas, de difícil compreensão ou acompanhamento. Assim, o cruzamento das variáveis *distância a rodovias*, *distância a silos* e *distâncias as áreas urbanas* resultou em três classes de acessibilidade: "boa" – região com altas taxas de mudança do uso da terra, "moderada" – menor tendência à mudanças de uso da terra e "ruim" – menor dinâmica nas mudanças no uso da terra (Figura 5.5).

Figura 5.5. Exemplo da organização dos dados inseridos na segunda etapa.



Fonte: Produção da autora.

Para parametrizar o conjunto de dados de *acessibilidade* na BN, foi realizada uma análise espacial baseada no método de *Peso de Evidência*, adaptado por Soares-Filho et al. (2009) de Agterberg e Bonham-Carter (1990). Nessa análise, os mapas com distância euclidiana criados para as rodovias, áreas urbanas e silos foram cruzados com mapas de uso da terra, identificando a importância de cada variável (mapas de distância) para transições entre classes de uso da terra. Como resultado, o método cria intervalos de regiões homogêneas de influência com base no cálculo de um delta mínimo. Esses intervalos foram adotados para discretizar nossas variáveis definindo as classes de acessibilidade. A inserção da variável de vizinhança foi mais simples, apenas traduzindo as colocações dos grupos entrevistados com relação a influência da vizinhança sobre suas decisões.

Na terceira *etapa*, o conjunto de variáveis de *critérios agrícolas* foi inserido na BN. O formato desse conjunto de dados é semelhante ao do conjunto de dados de *acessibilidade*, no entanto para parametrizar essas variáveis adotamos os critérios sugeridos no Zoneamento Agroecológico e Agroclimático para os estados do Pará e Mato Grosso, que definem níveis de adequação agrícola (EMBRAPA, 2016).

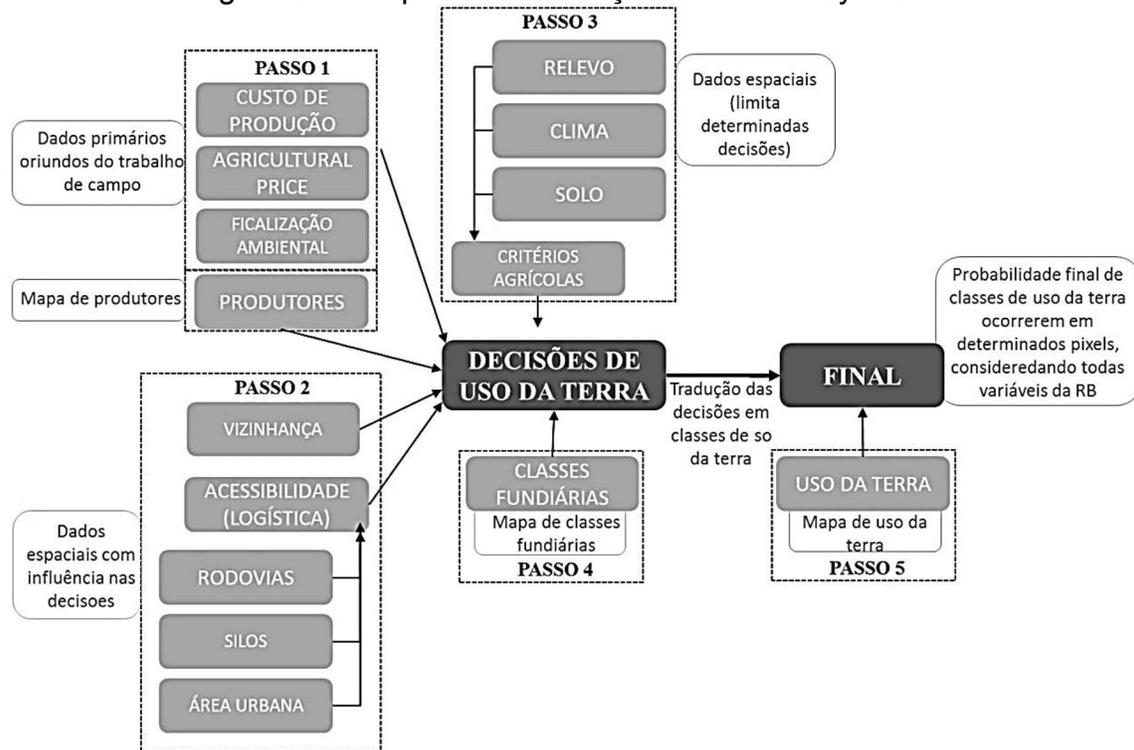
As variáveis de clima, solos e relevo foram reclassificadas de acordo com as demandas para agricultura e pastagens, resultando em três classes de adequação para nossa região de estudo: “boa” - boas condições tanto para a agricultura quanto para a implantação de pastagens, e. g. solos férteis e relevo plano; “Moderada” - condições não ideais para a agricultura, mas sem impedimentos e boas condições para pastagem, por ex. relevo levemente ondulado; e “ruim” - má adequação para a agricultura, mas nenhum impedimento para pastagem, por exemplo, relevo íngreme e afloramentos rochosos.

Na *quarta etapa*, a variável de *classes fundiárias* foi inserida na BN, com a função de parametrizar decisões, limitando ou estimulando mudanças de uso da terra de acordo com a categoria de fundiária, por exemplo, diminuindo a probabilidade de decisões por “limpeza” em Áreas protegidas. Uma lógica semelhante foi adotada para a variável de *Uso da terra*, que corresponde a um mapa de uso da terra adaptado do TerraClass, utilizado para traduzir o efeito das decisões de uso da terra sobre as classes de uso da terra existentes no mapa observado. Finalmente, a probabilidade final de nossa rede bayesiana é alcançada na variável *Final*, resultante da distribuição de probabilidade baseada na aplicação do teorema de Bayes para todas as variáveis que integram a RB.

Embora possa parecer complexa, a construção de uma RB é muito indutiva. Os dados de entrada podem ser oriundos de entrevistas ou oficinas com atores locais, opinião de especialistas ou ainda ser baseada em um levantamento bibliográfico. O cuidado no tratamento de dados na RB construída nesse estudo deriva da opção por sua espacialização, o que pode ter elevado seu nível de complexidade, porém, cumprindo com procedimentos básicos para simulações espacialmente explícitas. Além disso, com a RB gerada nesse trabalho buscou-se integrar variáveis quantitativas importantes para a dinâmica de uso da terra regional à dados não georreferenciados como os obtidos no jogo de decisão, exigindo

cuidado na forma como os diferentes tipos de variáveis eram interligados. Uma visão geral das etapas de construção dessa rede pode ser vista na Figura 5.6.

Figura 5.6. Etapas de construção da Rede Bayesiana.



Fonte: Produção da autora.

5.3.3. Espacialização geográfica Rede bayesiana

A espacialização geográfica da BN foi implementada pelo pacote 'bnspatial' (MASANTE, 2017), disponível para o software R v.3.5.0 (R Team, 2017). O objetivo de inserir um referencial geográfico na BN adaptada à simulação de uso da terra é tornar possível a execução das etapas de calibração e validação do modelo seguindo critérios para análises de estatística espacial demandadas para modelo de uso da terra, como a comparação de mapas base observados e mapas simulados. Além disso, permite a geração de cenários espacialmente explícitos que dão suporte melhor visualização e análise dos resultados.

O 'bnsptial' faz uma leitura completa de uma Rede bayesiana, considerando todas as variáveis (incluindo aquelas sem referência espacial) e a relação de influência definida nas Tabelas de Probabilidade Condicional. A saída são mapas com as classes mais prováveis de ocorrer em cada pixel, mapas de incerteza baseados na análise do índice de Shannon (entropia) e mapas de probabilidade para cada classe de uso da terra de interesse.

5.3.4. Calibração

Modelos de uso da terra precisam ser calibrados até que se alcance um melhor ajuste para simulação de mudanças de uso da terra. As Redes bayesianas, devido a sua forma de construção, a integração de diferentes tipos de dados e definição das relações de influência entre variáveis, admite que as etapas de calibração e validação sejam realizadas de maneiras diversas, tanto através de métodos qualitativos de consulta aos agentes envolvidos, como quantitativos, baseados em critérios matemáticos. Neste trabalho, foram adotadas dois métodos para calibrar a RB: uma análise de sensibilidade e comparação de dados simulados a partir de dados históricos de preços agrícolas, custo de produção e frequência de fiscalização ambiental.

5.3.5. Validação

5.3.5.1. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade consiste em uma análise da influência que todas as variáveis exercem sobre uma determinada variável-alvo, com o objetivo de demonstrar quais delas exercem maior ou menor influência, sendo mais significativas para o cálculo de probabilidades. Na BN construída nesse trabalho são analisadas todas as variáveis que de alguma forma exercem influência sobre a variável de *Decisão*, que é definida como a *variável-alvo* nessa análise e na qual estão inseridas as decisões de uso da terra consideradas no modelo. Assim, essa

análise considera que todas as variáveis ligadas ao nó de *decisão* exerce um grau de influência em cada decisão de uso da terra. Assim, a sensibilidade de cada variável demonstra a sua importância para cada decisão.

Para isso utilizou-se o método disponível no GeNIe, software onde a RB foi construída. O método baseia-se no algoritmo sugerido por Kjærulff & van der Gaag (2000), específico para análise de sensibilidade de Redes bayesianas. Este método considera todos os conjuntos de derivadas resultantes da distribuição de probabilidades de todas as variáveis ligadas a variável - alvo, resultando em um valor de sensibilidade, que varia de 0 a 1. Basicamente, os valores mais altos de sensibilidade significam que pequenas mudanças nos parâmetros das variáveis mais sensíveis podem influenciar mais significativamente a variável-alvo, enquanto que variáveis com valores de sensibilidade mais baixos precisam de grandes alterações em seus parâmetros para influenciar a variável alvo.

Espera-se que as variáveis consideradas no Jogo de decisão estejam entre as que apresentam os maiores valores de sensibilidade, pois elas são o fundamento das decisões representadas na RB. O tipo de influência de cada variável para cada decisão também deve transparecer na análise de sensibilidade.

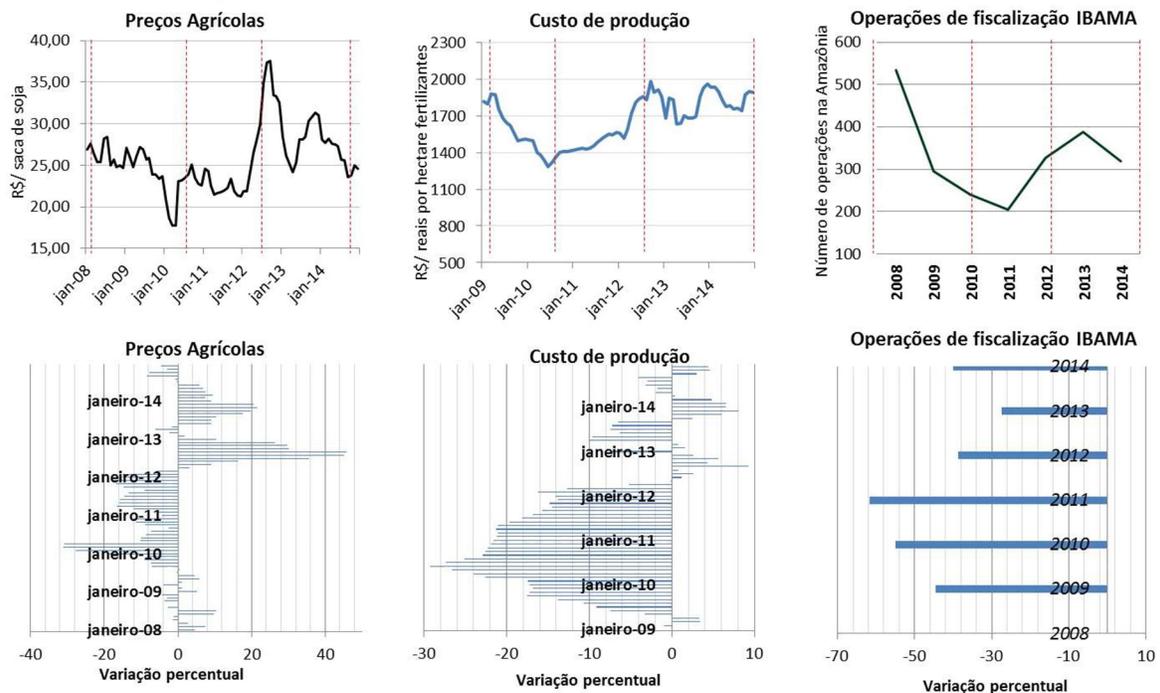
5.3.5.2. Quantificação de classes

Este método de calibração consistiu em uma comparação entre os mapas de uso da terra simulados e os mapas de uso da terra observados (adaptados do TerraClass). Para testar o efeito das decisões sobre os padrões de uso da terra, calibramos a BN para o intervalo de dois anos, alterando os parâmetros de *preços agrícolas, custo de produção e fiscalização ambiental* de acordo com seus respectivos valores correntes no período a ser simulado (Figura 5.7). Esse período foi definido com base na disponibilidade de imagens de uso da terra para comparação e também se considerou que esse intervalo de tempo condiz com a

média do período de carência de empréstimos agrícolas, os quais são muito importantes para a continuidade do trabalho no campo e, portanto, decisivos para a tomada de decisão dos produtores na região.

O primeiro período testado foi de 2008 a 2010. Para a rodada do modelo, um mapa de uso da terra inicial é inserido (referente ao primeiro ano do período a ser simulado - 2008) e ajustamos os parâmetros de *preços agrícolas*, *custo de produção* e *fiscalização ambiental* com base na variação percentual do valor no período (Figura 5.7). Posteriormente, esse processo foi repetido para os intervalos de 2010 a 2012 e de 2012 a 2014, alterando o mapa de entrada e ajustando os parâmetros de *preços*, *custos* e *fiscalização*.

Figura 5.7. Valores utilizados para parametrizar o modelo.



Fonte: Produção da autora.

5.3.5.3. Análise de similaridade

Usualmente, modelos de uso da terra adotam dois mapas de uso da terra de tempos diferentes para obter taxas de transição, matrizes e ou pesos para calibrar modelos e facilitar as etapas de calibração e validação. No entanto, modelos baseados em redes bayesianas admitem apenas um mapa de uso da terra como entrada, exigindo que toda a transformação nos mapas simulados, resultantes desse processo, seja oriunda das relações definidas entre as variáveis na RB. O que exige maior rigor na definição de relações de influência e na parametrização das variáveis para, assim, gerar mapas simulados passíveis de comparação com mapas observados.

Para validar nosso modelo, implementou-se uma *análise de similaridade* adotando os métodos de função de *decaimento exponencial* e *função de decaimento exponencial por múltiplas janelas*. A função de decaimento exponencial baseia-se no método de Hagen (2003) e consiste no cálculo da similaridade entre dois mapas: um mapa das diferenças gerado a partir dos mapas de uso da terra inicial e final (por exemplo, um mapa das diferença de 2008 para 2010, nesse estudo) e um mapa das diferenças geradas de um mapa inicial para um mapa simulado (2008 e mapa simulado). Assim, esses mapas de diferenças são usados para calcular um índice de semelhança, ou a similaridade. Como resultado, o modelo fornece mapas de gradação de cor de acordo com o nível de ajuste presente em cada pixel, considerando as classes simuladas e observadas.

O método de múltiplas janelas foi proposto por Costanza (1989) e consiste na aplicação da mesma função de decaimento exponencial já descrita, porém considerando janelas com múltiplas resoluções (o tamanho da área analisada cresce constantemente), resultando em valores de similaridade máxima e mínima, de acordo com o tamanho da janela ou resolução.

Ambos os métodos estão disponíveis na plataforma DinamicaEgo para calcular semelhanças entre os mapas sem que seja necessária a criação de um banco de dados ou uso de rotinas de programação, mas apenas a inserção simples das imagens de entrada. A plataforma faz a análise e retorna o resultado em mapas, gráficos e tabelas (Apêndice B.1 e B.2).

5.4. Resultados

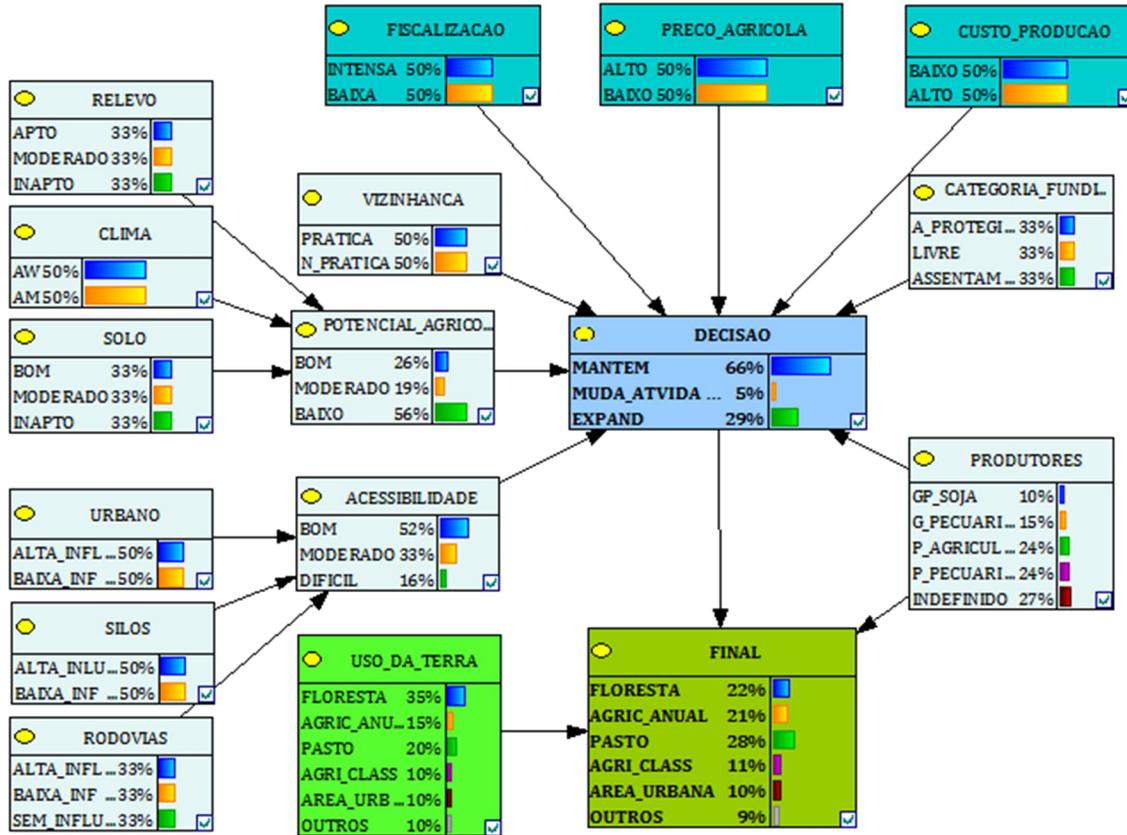
5.4.1. Rede Bayesiana

As cinco categorias de produtores foram representadas na mesma BN (Grandes pecuaristas, Grandes produtores de soja, Pequenos pecuaristas, Pequenos agricultores e Proprietários indefinidos), assumindo que as variáveis com influência em suas decisões de uso da terra são as mesmas (Figura 5.8).

Os preços agrícolas, o custo de produção e a frequência de fiscalização ambiental foram considerados as principais variáveis que influenciam as decisões de uso da terra. No entanto, importância também foi dada às demais variáveis que exercem função importante de induzir ou limitar as decisões de uso da terra reveladas.

As porcentagens apresentadas na variável *final* da RB resulta da parametrização de cada variável e sua relação com cada decisão. Esses valores são corrigidos posteriormente pelo “bnspatial” com base na leitura da influência entre as variáveis e a informação fornecida pelos dados georreferenciados.

Figura 5.8. Rede bayesiana resultante.



Fonte: Produção da autora.

5.4.2. Sensitivity analysis

Considerando nó de *Decisão* como variável - alvo, os resultados da análise de sensibilidade apresentam uma hierarquia das variáveis mais sensíveis para as menos sensíveis. Para entender como funciona a influência das classes de variáveis com maior efeito na variável alvo utilizamos o parâmetro GeNIe spread, que modifica os parâmetros de variação em todas as variáveis para observar seu efeito na probabilidade a posteriori na variável de Decisão. Assim, testes foram realizados para a variação de 10%, 50% e 90% (Tabela 5.2).

O ajuste da BN teve como objetivo demonstrar a importância do *preço agrícola*, *custo de produção* e *fiscalização ambiental* no modelo, de acordo com as decisões reveladas em campo, de modo que mudanças em suas probabilidades pudessem gerar mudanças de uso da terra, previstas na variável *final*.

Tabela 5.2. Resultado da análise de sensibilidade.

DECISÃO	VARIÁVEL	PARAMETER SPREAD		
		10%	50%	90%
MANTÉM	Preço agrícola = Alto	0.0152373	0.0634886	0.0939632
	Fiscalização Ambiental = Alta	0.0091059	0.04553	0.0782287
	Classe fundiária = Livre	0.00797866	0.03989933	0.0718079
	Custo de produção = baixo	0.00784475	0.0392237	0.0706027
	Classe fundiária = protegida	0.0073876	0.0369383	0.0664889
MUDANÇA DE ATIVIDADE	Solo= ruim	0.00516025	0.0258012	0.0464422
	Relevo = inapto	0.00516025	0.0258012	0.0464422
	Preço agrícola = Alto	0.00414992	0.017458	0.027784
	Classe fundiária = Livre	0.00308711	0.00154355	0.0258379
	Vizinhança = pratica	0.00280215	0.0140108	0.0252194
LIMPA	Preço agrícola = Alto	0.0173671	0.72363	0.107097
	Fiscalização Ambiental = Alta	0.0113249	0.0566246	0.0972914
	Custo de produção = baixo	0.00782974	0.0391487	0.0704676
	Produtores = Indefinidos	0.00426161	0.021308	0.0383545
	Produtores = Pequenos pecuaristas	0.00389473	0.0194736	0.0350525

Fonte: Produção da autora.

Para a decisão de “limpar”, o preço agrícola mostrou-se como a variável mais sensível, seguida da frequência de inspeções ambientais e custo de produção. Este resultado reflete um bom ajuste do modelo, onde se assume que os preços e custos favoráveis induzem decisões por “limpeza” da vegetação (ou desflorestamento), a menos que a intensificação de ações de comando e controle interfira negativamente nessa expansão, favorecendo a decisão por “manter”, que segue lógica semelhante e apresenta praticamente a mesma hierarquia de variáveis com maior sensibilidade.

Para as decisões de mudança de atividade, as variáveis com maior influência estão relacionadas aos critérios agrícolas, principalmente aqueles que limitam a implantação de culturas agrícolas, como solo ruim e relevo inapto.

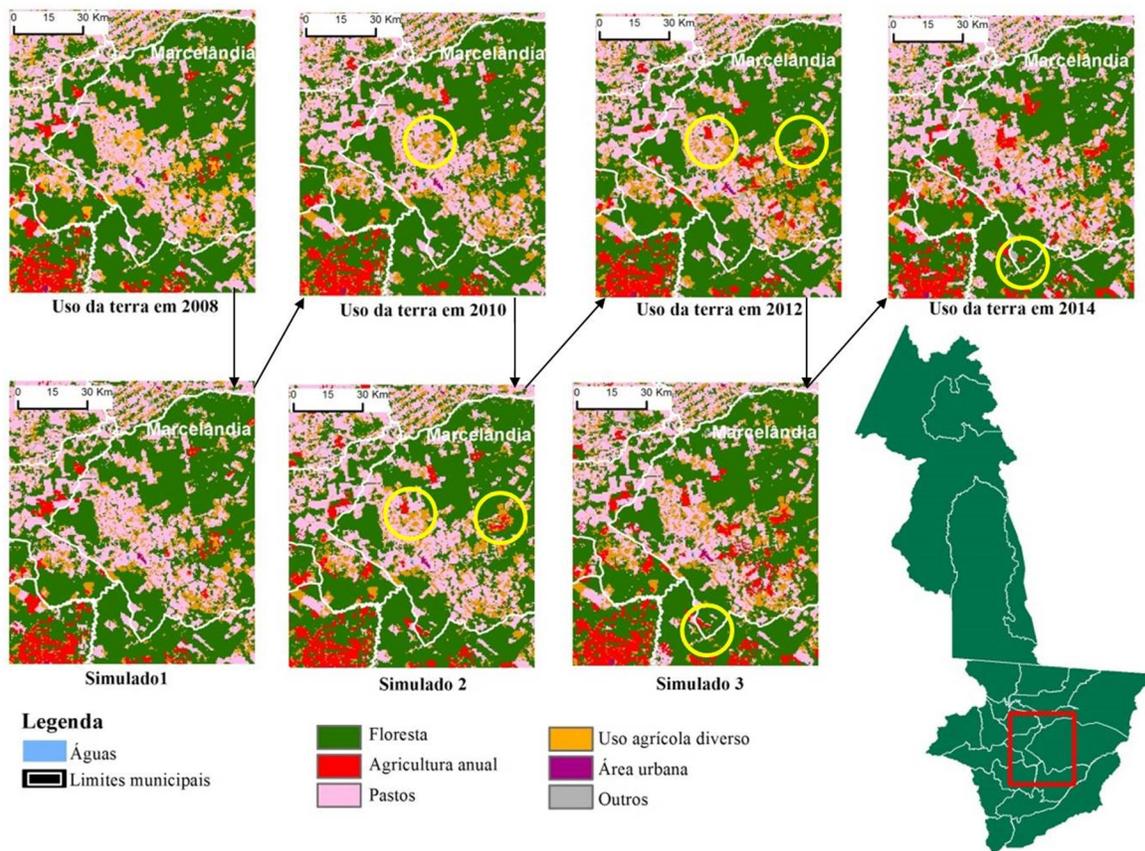
5.4.3. Quantificação de classes

Mapas de uso da terra foram simulados para o intervalo de tempo de dois anos. Embora esse intervalo possa ser considerado curto para validar um modelo de uso da terra, optou-se por não adotar longos períodos de tempo devido a sensibilidade do modelo às variações nos preços agrícolas e custos de produção, ambos determinados pela intensa dinâmica de mercado.

Três mapas resultaram desse processo: *Simulado 1*, baseado no mapa de uso do solo observado em 2008, com parâmetros de preços, custos e fiscalização ambiental ajustados de 2008 a 2010; o *Simulado 2*, resultante do mapa de uso da terra observado em 2010, com parâmetros ajustados do período de 2010 a 2012, e *Simulado 3*, resultante do mapa de uso da terra observado em 2012, com parâmetros ajustados com base nos valores do período de 2012 a 2014 (Figura 5.9, Apêndice C.1 e C.2).

O modelo demonstrou uma boa capacidade em simular mudanças de uso da terra, não só expandindo manchas de usos já existentes, mas também criando novas manchas de classes de uso da terra em zonas com potencial para transições. O mapa *Simulado 2*, por exemplo, teve como dado de entrada o mapa observado de 2010 e apenas com os ajustes nas variáveis preços, custos e fiscalização na RB, mostrou-se capaz de simular manchas semelhantes a 2012, período para o qual as variáveis foram ajustadas. Comportamento semelhante foi observado para demais imagens simuladas.

Figura 5.9. Fragmento da área de estudo com o uso da terra observado e o uso da terra simulado. Em amarelo as áreas onde o modelo se mostrou capaz de formar novas manchas.



Fonte: Produção da autora.

Os mapas simulados foram comparados aos mapas de uso da terra observados através da quantificação das classes de uso da terra e análise da variação percentual para a área total de estudo (tabela 6), com o objetivo de identificar os melhores e piores ajustes em períodos específicos. A classe de uso da terra “Floresta” foi a que apresentou a menor variação entre os mapas simulados e os mapas observados, não ultrapassando 1% de diferença.

A classe “Pasto” também apresentou valores próximos aos observados, com a maior variação percentual de -1,24%, o que significa que o modelo simulou uma área menor de pastagem do que a observada, ainda assim, a diferença é muito baixa dado o tamanho da área de estudo.

A maior variação foi apresentada pela classe de “Uso agrícola diverso” para o período simulado para 2014, quando a variação atingiu 8%, a maior variação entre todas as classes e períodos. Análise do comportamento dessa classe no período de 2008 a 2014 demonstra uma instabilidade peculiar, que em alguns anos aumenta e em outro diminui, o que pode estar associado a ciclos agrícolas e à inclusão da classe de vegetação secundária que tem uma dinâmica mais complexa.

No entanto é possível observar que enquanto a classe de “uso agrícola diverso” diminui, as áreas de pastagem e agricultura anual continuam a crescer, sem que se identifique perdas proporcionais na área de floresta, o que pode significar a consolidação de pastagens ou transição para agricultura anual nessas áreas de “uso agrícola diverso”. O modelo também foi capaz de simular esse comportamento, como pode ser observado na tabela 6. No entanto, de 2012 a 2014 a queda na área dessa classe foi especialmente brusca, não tendo sido observada nas imagens dos anos anteriores e não sendo simulada em sua amplitude pelo modelo.

5.4.4. Análise de similaridade

O método de decaimento exponencial produz mapas onde os pixels são destacados através de gradações de cores de acordo com o nível de similaridade alcançado, permitindo a análise espacialmente explícita das regiões com os melhores e piores ajustes dos mapas simulados em comparação com os mapas observados (Apêndice D1).

O método de decaimento exponencial por múltiplas janelas nos permitiu obter valores de *similaridade mínima* (semelhança *fuzzy* mínima entre mapa de mudanças simuladas versus o mapa com mudanças observadas, com foco nas manchas não criadas) e de *similaridade máxima* (semelhança *fuzzy* entre mapa

com mudanças observadas versus mapa de mudanças simuladas, com foco nas manchas criadas em excesso). Esses valores variam de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior a similaridade dentre o mapa simulado e o mapa base. Usualmente, adota-se como parâmetro principal a similaridade mínima, para interpretar e avaliar a precisão da simulação (Soares-Filho et al., 2013).

Embora não exista um valor de similaridade definido para determinar a capacidade de simulação do modelo, o método aqui adotado assume que os valores >0,49 são satisfatórios, embora valores >0,9 representem um ajuste ótimo do modelo (HAGEN, 2003). O mapa *Simulado 1* apresenta bons valores de similaridade (janela 11x11 Similaridade Mínima = 0,873924 e Similaridade Máxima = 0,984502). No entanto, os mapas *Simulado 2* e *Simulado 3*, apresentam valores de similaridade mínima muito baixos, demonstrando um fraco ajuste entre os mapas simulados e os mapas observados (*Simulado 2* - janela 11x11 Simulado Mínimo = 0,264781 e *Simulado 2* - janela 11x11 Simulado Mínimo = 0.154075).

Tabela 5.3 Quantificação das classes de uso da terra em Km².

Classe de uso da terra	Uso da terra 2008	Uso da terra 2010	Simulado 1	Variação percentual	Uso da terra 2012	Simulado 2	Variação percentual	Uso da terra 2014	Simulado 3	Variação percentual
Floresta	125.224,75	124.338,75	125.147,75	0,65	123.638,50	124.316,50	0,55	122.553,50	123.520,00	0,79
Agricultura anual	5.483,25	5.841,50	5.600,00	- 4,13	6.136,50	6.466,25	5,37	6.704,25	6.814,00	1,64
Pasto	21.958,50	22.368,00	22.393,50	0,11	22.767,75	22.491,50	-1,21	24.194,75	24.095,00	- 0,41
Uso agrícola diverso	10.623,25	10.739,25	10.148,50	- 5,50	10.190,75	10.013,25	-1,74	8.969,25	9.694,50	8,09
Outros	10.344,50	10.346,75	10.344,50	-0,02	10.900,75	10.346,75	-5,08	11.212,50	10.900,75	- 2,78

Fonte: Produção da autora.

Tabela 5.4. Valores de Similaridade resultantes do processo de validação.

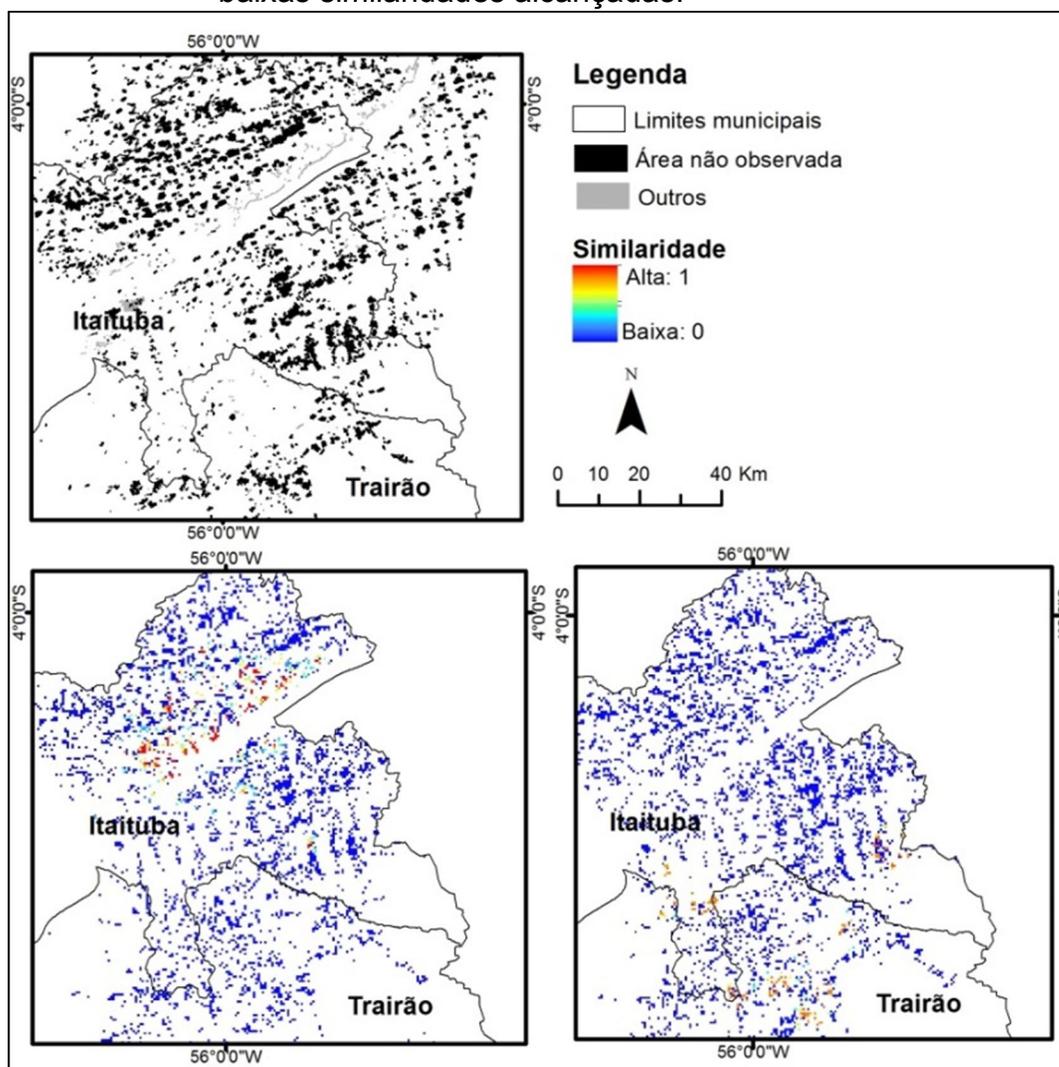
TAMANHO DAS JANELAS (EM PIXELDE 500M)	SIMULADO 1 (baseado em 2008 comparado a 2010)		SIMULADO 2 (baseado em 2010 comparado a 2012)		SIMULADO 3 (baseado em 2012 comparado a 2014)		SIMULADO 4* (Comparação SIMULADO 1 SIMULADO 2)		SIMULADO 5 (baseado em SIMULADO 4 comparado a 2014)	
	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima
1 X 1	0,81445	0,96276	0,14024	0,38447	0,05287	0,43014	0,37017	0,40937	0,42857	0,58447
3 X 3	0,82736	0,97063	0,17077	0,51312	0,07234	0,54872	0,44669	0,49033	0,54358	0,66742
5 X 5	0,83901	0,97596	0,19967	0,59840	0,09259	0,63160	0,50890	0,55776	0,64513	0,73703
7 X 7	0,85103	0,98037	0,22413	0,66426	0,11241	0,68842	0,55915	0,61098	0,71892	0,78867
9 X 9	0,86410	0,98263	0,24548	0,70905	0,13342	0,73280	0,59561	0,65142	0,77119	0,82487
11 X 11	0,87392	0,98450	0,26478	0,74365	0,15407	0,76755	0,62919	0,68169	0,80803	0,84935

* Teste comparativo entre mapas simulados

Fonte: Produção da autora.

Uma investigação sobre as prováveis causas de baixa similaridade foi realizada, baseando-se nos mapas de validação, analisando as manchas de menor ajuste e as comparando com o mapa de uso da terra observado. Assim, observou-se que as manchas de menores ajustes coincidem com as manchas de “áreas não observadas” mapeadas pelo TerraClass (Figura 5.10). Nos mapas observados de 2008, 2010 e 2014, essas mesmas áreas são destinadas ao uso agrícola e pastagens, o que pode ter alimentado conflitos de similaridade.

Figura 5.10. Comparação da classe não observada em 2012 e as baixas similaridades alcançadas.



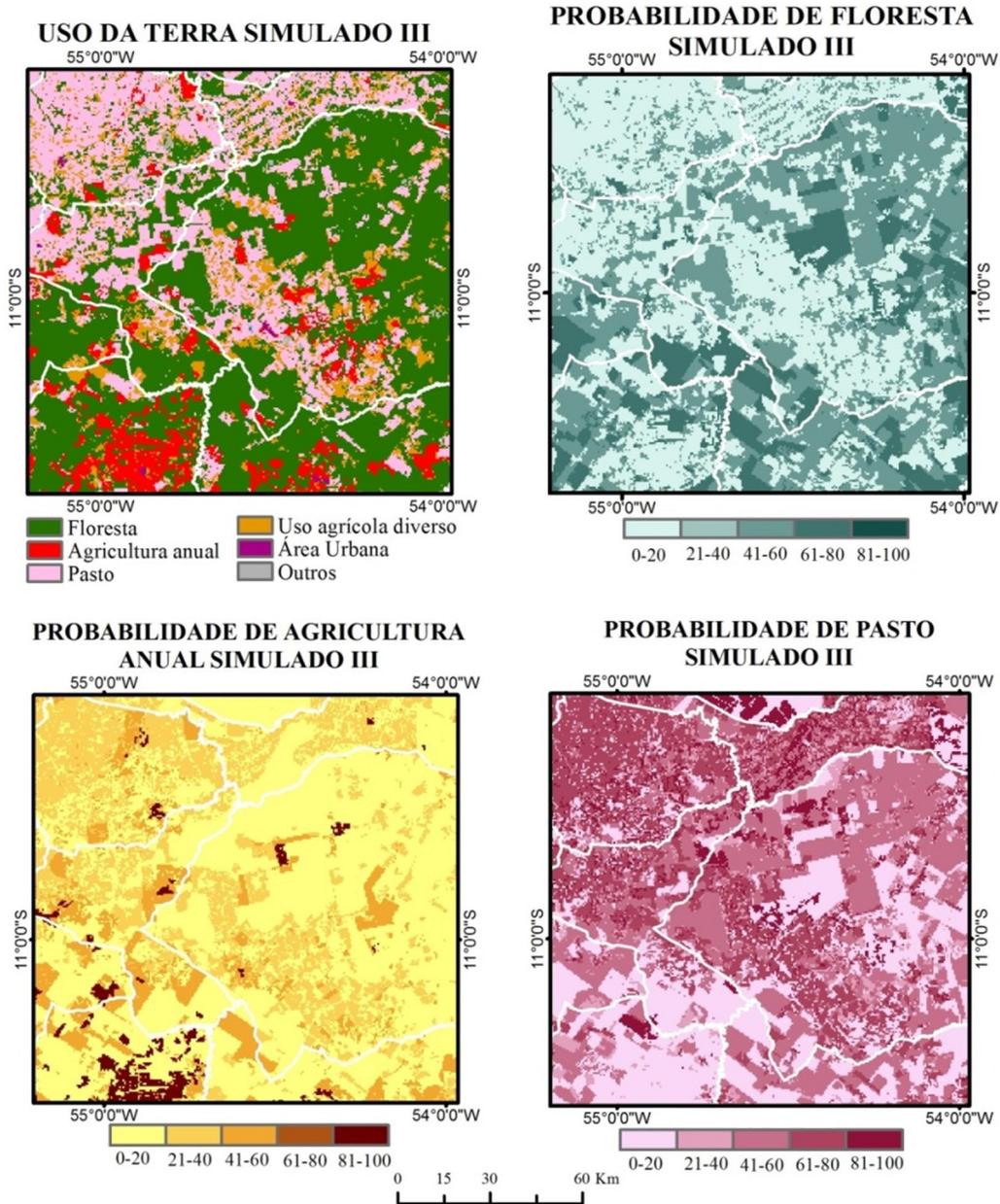
Fonte: Produção da autora.

Assim, considerando que os baixos valores de *similaridade mínima* dos mapas simulados para 2012 e 2014 poderiam estar associados à classe não observada em 2012. Optou-se por implementar dois testes complementares para avaliar a capacidade do modelo. Primeiramente comparou-se a saída do mapa *Simulado 1* (2008 para 2010) ao mapa *Simulado 2* (2010 para 2012) e os valores de similaridade aumentaram (*Simulado 4*). O Segundo teste consistiu em usar o mapa *Simulado 2* como entrada do modelo, gerando um novo mapa *Simulado 5*, para comparar seu resultado com o mapa de uso da terra observado em 2014.

Os valores mínimos de similaridade ultrapassaram 0,8 no *Simulado 5* com janela de tamanho 11x11, representando um bom ajuste do modelo e superando as lacunas do mapa observado de uso do solo em 2012. Esse resultado também pode representar o potencial do modelo para simular cenários futuros, considerando a possibilidade de inserir rotinas de retroalimentação no modelo.

As classes de uso da terra apresentadas nos mapas simulados representam a classe com maior probabilidade de ocorrer em cada pixel, o que não significa que outras classes também não apresentem probabilidades, embora menores, de ocorrer no mesmo lugar. Um dos benefícios desse método é que ele permite que para cada uso da terra simulado, também sejam gerados mapas de probabilidade para classes de interesse (Figura 5.11; Apêndice E.1).

Figura 5.11. Mapas de probabilidade por classe, gerados pelo modelo.



Fonte: Produção da autora.

Esses mapas podem ser úteis para efetuar análises complementares, por exemplo, identificando áreas com maior risco de perda de floresta ou com maior probabilidade de avanço de usos específicos como agricultura anual ou pecuária.

5.5. Discussão

A aplicação da abordagem de Redes bayesianas em modelagem de uso da terra é relativamente recente, mas pode representar um avanço metodológico nos processos de simulação. Sua capacidade de representar as respostas comportamentais de atores locais à variáveis exógenas, com influência direta nas mudanças de uso da terra, pode contribuir para resolução de uma das principais lacunas na modelagem de uso da terra que é a integração de informações qualitativas a modelos matemáticos, visando uma análise integrada e integradora das dinâmicas de uso da terra (VERBURG et al., 2015b).

Embora se reconheça que a dinâmica do uso da terra na região de estudo seja muito mais complexa e envolve mais atores do que os considerados nesse modelo, a ênfase aos *preços agrícolas, custos de produção e fiscalização ambiental* alcançou bons resultados, sendo possível correlacionar as variações históricas das variáveis do jogo de decisão e as mudanças de uso da terra observadas em cada período. Esse padrão corrobora com estudos que associam a influência do mercado às mudanças de uso da terra na região (ASSUNÇÃO et al., 2012; VERBURG et al., 2014).

A abordagem Redes bayesianas também pode ser considerada um método de análise inovador na região da BR-163, onde vários estudos de relevância foram desenvolvidos (COY; KLINGLER, 2014; GARRETT; LAMBIN; NAYLOR, 2013; GOLLNOW et al., 2018). O diferencial dessa pesquisa está no seu embasamento na consulta a atores locais e suas percepções sobre os mecanismos políticos regionais, suas respostas a incentivos de mercado e no processo de tomada de decisão sobre o uso da terra. O que pode fornecer informações importantes para tomadores de decisão e desenho de políticas públicas direcionadas para determinados setores produtivos ou adaptadas à peculiaridade regional.

No modelo desenvolvido nessa tese buscou-se representar diferentes grupos de atores, pautando-se no cruzamento de dados espaciais para classificar cinco tipos de atores considerados no modelo. Também buscou-se dar ênfase a importância das categorias fundiárias, especialmente às Áreas protegidas como variável suplementar de alocação de uso da terra.

No contexto regional, o modelo foi capaz de representar características importantes do processo de expansão agrícola. No que concerne a agricultura anual, por exemplo, o modelo reproduziu características de sua expansão destacadas por Gibbs et al., (2015) e Morton et al., (2016), que observaram que a expansão da soja ocorre predominantemente em áreas de pastagens e de diferentes usos agrícolas, concentrando-se em propriedades próximas a propriedades que já produzem soja (variável vizinhança), fora de áreas protegidas (variável posse) e em áreas com boa acessibilidade (variável de acessibilidade). Esses padrões foram analisados no contexto regional com base no efeito de vizinhança (RICHARDS, 2018), na teoria da aglomeração (Garrett et al., 2013) e no efeito dos mecanismos de governança regionais (GIBBS et al., 2015).

Além disso, também foi simulada a mudança de atividade mais comum, que é da soja para a pecuária, o que ficou claro na alta influência dos critérios agrícolas sobre essa decisão. E também foi simulada que a substituição de floresta foi realizada predominantemente pelas classes de “uso agrícola diverso” e pelo “pasto”, como também pode ser observado em Morton et al. (2016) e nos dados disponibilizados pelo Terraclass (INPE, 2017). O que comprova a capacidade de reprodução de dinâmicas de uso da terra pelo modelo e sua boa parametrização.

A estrutura abrangente da Rede Bayesiana permite que seus modelos sejam submetidos a diferentes tipos de validação qualitativa e quantitativa (MALLAMPALLI et al., 2016). A validação qualitativa é realizada frequentemente com a análise da Rede bayesiana e seus resultados junto a especialistas e atores

envolvidos, vale salientar aqui, que nem toda rede bayesiana possui resultados espacialmente explícitos, sendo a validação qualitativa de sua estrutura e resultado o método mais usual (KLEEMANN et al, 2017). No entanto, espera-se de um modelo de uso da terra espacialmente explícito, a capacidade de simular usos da terra comparáveis aos dados históricos (CELIO et al, 2014). Embora não exista um método ou valor definido para que um modelo seja considerado ótimo e que o processo de validação dependa do tipo de modelo, dos dados adotados ou do problema que se busca responder (VAN VLIET, 2013), as simulações realizadas pelo modelo desenvolvido nesse trabalho alcançou valores considerados bons para a similaridade espacial ($>0,8$). Além disso, o testes pautados na retroalimentação do modelo a partir de seus próprios dados simulados, demonstra um grande potencial do método em gerar cenários.

Porém, cabe destacar algumas limitações desse modelo especificamente. As classes para as quais uma dinâmica não foi definida permaneceram estáticas, como as classes “outros” e a “área urbana”. Porém, o que não foi visto como um problema diante do foco da pesquisa na expansão agrícola e seus efeitos diretos nas classes agrícolas e das baixa variações na área dessas duas classes. Também pode ser destacada a necessidade de discretização de dados, que pode ser vista como um fator limitante das Redes bayesianas (BARTON et al., 2012), no entanto, já se dispõe de métodos mais complexos que permitem o uso de dados contínuos em BNs (Marcot e Penman, 2019). Ainda assim, a discretização de dados não foi considerada um obstáculo para a execução desse modelo. Além disso, o método de coleta de dados qualitativos baseado no jogo de Decisão facilitou a tradução de decisões e influência de variáveis para as TPCs.

Outra possível dificuldade das redes bayesianas é que sua estrutura baseada na cadeia de influência, pode resultar em TPCs muito longas, que podem ser difíceis de entender por não-modeladores ou não familiarizados com o sistema representado (NEAPOLITAN, 2004). Nesse caso, a variável de *decisão*, que

recebe uma grande quantidade de variáveis, resultou em um TPC extensa, no entanto a etapa de inserção dos dados foi facilitada pelo uso de probabilidades e pela adoção de dados discretos em campo. Além disso o claro entendimento da função de cada grupo de variável sobre as decisões, não só permitiu melhor definição dos parâmetros, mas também o controle das relações de influência e todo o processo.

A flexibilidade do método baseado em Redes Bayesianas provou que esse tipo de modelo é pratico e abrangente, podendo ser aplicado em diferentes regiões e adaptado a diferentes problemas. Neste trabalho, o principal ganho desse método está na capacidade de representar a resposta de diferentes grupos de atores locais a variáveis exógenas, especialmente relacionadas a aspectos de mercado e governança, que são importantes na dinâmica econômica regional. Nesse sentido, o método pode se constituir em uma ferramenta interessante para planejamento do uso da terra na região, podendo envolver diferentes atores e suas perspectivas futuras no desenho de um plano de gestão territorial, ou ainda integrar análises de demandas por terras agricultáveis e impactos das mudanças de uso da terra sobre a própria produção agrícola.

5.6. Conclusão do capítulo

Neste capítulo, buscou-se representar a relação entre fatores econômicos e de governança ambiental sobre as decisões de uso da terra feitas pelos agricultores em suas propriedades. Para isso adotou-se o arcabouço de Redes Bayesianas adaptada à simulação de mudanças de uso da terra. Dentre os principais benefícios dessa abordagem está a capacidade de integração e tradução de informações qualitativas e quantitativas.

Foram representados cinco grupos de produtores rurais, suas decisões de uso da terra e as variáveis que influenciam essas decisões. As simulações realizadas

basearam-se em variáveis de mercado e de fiscalização ambiental que estimularam mudanças nas decisões a partir das alterações em seus valores.

O modelo foi capaz de integrar dados qualitativos adquiridos em campo a um banco de dados quantitativo espacialmente explícito, apresentando-se como um método aplicável a diferentes regiões e para as mais diversas finalidades. Para a região estudada, os resultados da análise de sensibilidade evidenciaram a capacidade da rede bayesiana em representar a dinâmica de uso da terra observada em campo. Os resultados de similaridade espacial demonstraram a capacidade de sua estrutura em reproduzir padrões espaciais de mudança de uso da terra comparáveis a padrões observados na realidade.

A espacialização da BN representou enorme potencial para o entendimento de processos decisórios e integração de dados qualitativos a processos de simulações espacialmente explícitos. Devido à flexibilidade do método, novas variáveis e abordagens podem ser facilmente desenvolvidas ou integradas a outros modelos, a partir da integração da lógica bayesiana ou adaptando de redes bayesianas a outras plataformas de modelagem, o que pode representar um avanço na análise de uso da terra, como um método alternativo de tradução de narrativas qualitativas para modelos matemáticos.

A possibilidade de validação quantitativa das redes bayesianas e sua resposta em mapas também representa uma alternativa metodológica para estimular o debate entre diferentes setores envolvidos em uma dinâmica, avaliar a efetividade de políticas públicas e a concepção de mecanismos de governança pautados em métodos participativos.

6. EXPLORANDO CENÁRIOS DE USO DA TERRA E GOVERNANÇA

O declínio de mais de 80% nas taxas de desflorestamento na Amazônia brasileira no período de 2004 a 2012 é geralmente associado a uma série de mecanismos de governança desenvolvidos para a Amazônia, em especial os que otimizaram as ferramentas de monitoramento e limitaram o acesso à crédito e ao mercado por produtores com infrações ambientais (NEPSTAD et al., 2014; SOARES-FILHO; RAJÃO, 2018). No entanto, a instabilidade nas taxas de desflorestamento apresentadas a partir de 2013 (INPE, 2018b), tem contribuído para que a efetividade desses mecanismos seja questionada.

Na área estudo, conforme exposto anteriormente, tipos variados de mecanismos de governança públicos e privados foram experimentados tanto para controlar o avanço da fronteira agrícola e desflorestamento na região, como para dar suporte às cadeias produtivas sustentáveis. No entanto, os municípios ao longo da rodovia BR-163, especialmente, do lado paraense, estão entre os que apresentam as maiores taxas de desflorestamento em toda a região amazônica (INPE, 2018). Do mesmo modo, suas áreas protegidas, também figuram entre as que apresentam as maiores taxas de desflorestamento na região, por exemplo a Área de Proteção Ambiental do Tapajós, que ocupa a 1ª posição dentre as UCs com maior incremento de desflorestamento na Amazônia em 2017, a Floresta Nacional do Jamanxim, que ocupou a 2ª posição em 2017 e a Floresta Nacional de Itaituba II que ocupou a 5ª posição também em 2017.

Embora análises sobre os efeitos das políticas e mecanismos de governança tenham avançado (AZEVEDO et al., 2017; GIBBS et al., 2015; MACEDO et al., 2012; MORTON et al., 2016), ainda pouco se sabe sobre a percepção que os produtores rurais possuem sobre esses mecanismos políticos e onde identificam limitações e incentivos para que se ajustem a suas demandas legais. Esse tipo de informação é de grande relevância para a concepção de políticas públicas

adequadas a realidades regionais e, portanto, com maiores chances de obter maior adesão de seus atores alvo, contribuindo efetivamente para a redução de perdas de floresta na região.

Neste capítulo, discute-se a percepção dos grupos de produtores rurais entrevistados sobre os diferentes mecanismos políticos que afetam ou deveriam afetar suas decisões sobre uso da terra. Posteriormente, cenários espacialmente explícitos foram criados com base na percepção dos produtores, pautando-se no nível de implementação ou efetividade desses mecanismos.

O modelo apresentado no capítulo anterior foi utilizado como base nessa etapa. O diferencial está na inserção da decisão de “intensificação” e de variáveis que representam os grupos de mecanismos de políticos e de governança com efeito nas decisões de uso da terra.

6.1. Método

6.1.1. Mecanismos de governança considerados

Primeiramente, é preciso esclarecer que considerou-se como mecanismos de governança tanto as políticas em suas ações, planos e projetos instituídos através de leis, decretos ou Medidas Provisórias na região, quanto os mecanismos originados a partir de acordos público-privados, adesão voluntária ou de ações específicas para determinadas cadeias produtivas, como as Moratórias da Soja e o Termo de Ajuste de Conduta (TAC) da Carne.

Como já descrito no capítulo 3 deste trabalho, as políticas foram consideradas na terceira etapa do experimento de campo. Primeiramente, foram levantadas junto aos produtores as políticas que influenciavam suas práticas agrícolas e seu nível de importância para o produtor. Em seguida, os mecanismos discutidos com os

produtores foram agrupados em quatro grupos, onde as políticas e mecanismos de governança foram distribuídas com base em seu tipo de atuação e não mais pelos critérios legais e institucionais de sua criação (Tabela 6.1).

Tabela 6.1. Políticas e mecanismos de governança destacados pelos produtores.

TIPO DE MECANISMOS	MECANISMO	DETALHES
Limita o acesso ao mercado	Moratória Soja da	Acordo firmado em 2006 pela Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais (ABIOVE) e a Associação Brasileira dos Exportadores de Cereais (ANEC), onde se comprometiam a não comercializarem soja oriunda de propriedades com denúncias de desflorestamento ilegal a partir do ano de 2006. Essa data se ajustou ao Código Florestal passando a considerar o desflorestamento a partir de julho de 2008. O acordo era renovado anualmente, a partir de 2016, o compromisso foi renovado por tempo indeterminado (www.abiove.org.br/).
	Termo Ajuste Conduta carne de de da	Criado em 2009, o TAC da Carne partiu de uma iniciativa do Ministério Público Federal em busca de acordos voluntários de frigoríficos no Pará, para que não adquirissem gado de fazendas com infração ambiental. Atualmente o acordo de estende aos estados do Pará e Mato Grosso, mas é ganhar aderência dos frigoríficos e conseguir efetuar punições ainda é um desafio para o mecanismo (www.mpf.mp.br/).
Incentivo à produção agrícola sustentável	Plano ABC	Plano criado em 2010 em consonância com as diretrizes da Política Nacional de Mudanças no Clima (Decreto nº 7.390/2010) prevê o desenvolvimento e compartilhamento de tecnologias de baixa emissão de carbono aplicadas à agricultura (www.agricultura.gov.br)
	Política nacional de iLPF	Instituída através da Lei Nº 12.805/2013, tem como objetivo de implementar melhorias na produtividade da agropecuária, através da adoção de sistemas integrados de exploração de lavoura, pecuária e floresta em áreas já desmatadas, como alternativa aos monocultivos tradicionais (www.planalto.gov.br).
	Plano BR-163 Sustentável	Instituído através do decreto de 15 de março de 2004, que criou o Grupo de Trabalho para implementar ações específicas para a área de influência da BR-163, visava, dentre outras coisas, o apoio à cadeias produtivas sustentáveis na região (www.agricultura.gov.br).

continua

Tabela 6.1. Conclusão.

Limita o acesso a crédito	Lista dos municípios prioritários para conservação – Decreto nº 6.321/2007	Institui a geração anual da lista dos municípios do bioma Amazônia destaque pela área desflorestada. Prevendo a restrição para emissão de autorização para novos desflorestamentos, atualização cadastral das propriedades e revisão de licenças (www.planalto.gov.br).
	Resolução nº 3545/2008 do Banco central do Brasil	Passa a exigir comprovação de regularidade ambiental para autorizar financiamento para atividades agropecuárias no bioma Amazônia (www.bcb.gov.br).
Promove a regularização fundiária	Programa Terra Legal	Surgiu a partir dos Decretos nº 7.255, de 04 de agosto de 2010 e nº 6.812, de 03 de abril de 2009 com o objetivo de promover a regularização fundiária e a distribuição de terras na Amazônia (www.mda.gov.br).
	Regularização fundiária Lei nº 13.465/2017	Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana na Amazônia, flexibilizando as normas para alienação de terras da união para terceiros e liquida dívidas de assentados (www.planalto.gov.br).

Fonte: Produção da autora.

Em seguida, os mecanismos de governança foram discutidos levando-se em consideração cada decisão de uso da terra revelada pelos produtores no jogo de decisão. Para cada decisão, questionava-se sua sustentação ou reavaliação diante de cada mecanismo mencionado. Quando a decisão era reavaliada, o produtor também revelava as chances de optar por outra decisão.

6.1.2. Inserção das componentes de governança no modelo

A influência de cada mecanismo de governança foi traduzida para a BN, sendo interligada diretamente à uma variável com as decisões de uso da terra. Para evitar a geração de uma tabela de probabilidade condicional extensa e a necessidade de interligar cada conjunto de mecanismos a cada variável de influência na decisão, as decisões resultantes da etapa de modelagem

apresentada no capítulo anterior foi representada em uma nova variável, cujas decisões foram interligadas diretamente aos grupos de mecanismos de governança considerados nessa etapa. A decisão por intensificação também foi inserida nessa etapa, devido as considerações feitas pelos produtores e representantes de instituições públicas e associações de produtores durante a entrevista.

6.1.3. Cenários

Os cenários foram gerados a partir da reinserção dos mapas de uso da terra, produtores e vizinhança resultantes de cada interação do modelo. Esse processo foi repetido até se alcançar o resultado referente ao ano de 2030. Os cenários gerados nesta etapa pautaram-se nas políticas e mecanismos de governança existentes ou planejados para a região. As projeções foram feitas para o ano de 2030, considerando quatro cenários detalhados na tabela 6.2.

Tabela 6.2 Parâmetros adotados para os cenários simulados para 2030.

VARIÁVEIS/ CENÁRIOS	CENÁRIO1	CENÁRIO2	CENÁRIO3	CENÁRIO4
Preços agrícolas	Ato (65%)	Ato (65%)	Ato (65%)	Ato (65%)
Custo de produção	Baixo (60%)	Alto (65%)	Alto (65%)	Alto (65%)
Frequência de fiscalização	Regular (50%)	Intensa (70%)	Intensa (70%)	Intensa (70%)
Limitação do acesso ao mercado	Sim (40%)	Sim (40%)	Sim (80%)	Sim (80%)
Incentivo à produção sustentável	Sim (40%)	Sim (40%)	Sim (40%)	Sim (80%)
Limitação do acesso a crédito	Sim (45%)	Sim (45%)	Sim (45%)	Sim (80%)
Regularização fundiária	Sim (60%)	Sim (60%)	Sim (60%)	Sim (80%)

Fonte: Produção da autora.

O Cenário1 é considerado o cenário “business as usual”, cujos parâmetros foram definidos pelos produtores, considerando sua percepção do nível de implementação ou funcionamento dos mecanismos de governança existentes na

ocasião do trabalho de campo. Com cenário 2, buscou-se mostrar o efeito da intensificação das fiscalizações ambientais na região, com elevação da frequência de fiscalização. Subtende-se que a maior pressão pelo cumprimento das normas ambientais pressionaria os produtores a investir em melhoria na produtividade sem promover o desflorestamento, por essa razão o custo de produção foi elevado em 5%. No cenário 3, o objetivo foi demonstrar a influência dos mecanismos que limitam o acesso ao mercado por infratores associados a intensificação na frequência de fiscalização ambiental. No cenário 4, o objetivo foi apresentar um cenário que resultaria da plena implementação dos mecanismos de governança já existentes na região.

A geração de diferentes cenários foi facilitada pela estrutura da rede bayesiana e sua sensibilidade aos fatores de governança definidos para essa etapa do modelo. O que permitiu que as mudanças nos parâmetros de governança possuísem alta sensibilidade sobre as decisões de uso da terra com consequência nos padrões de mudanças de uso da terra resultantes.

6.2. Resultados

6.2.1. Aspectos sobre decisões e governança oriundos das entrevistas

Primeiramente, é necessário fazer algumas ressalvas sobre a decisão de “intensificação” para que se compreenda sua inclusão apenas nessa etapa do modelo. A intensificação é entendida como aumento da produtividade em uma mesma área, seja através do investimento em tecnologia ou da rotação de culturas, é uma prática comum na produção de soja da região.

Todos os produtores de soja entrevistados são adeptos da rotação de culturas (também produzem milho) e dos métodos de plantio direto e fixação biológica de nitrogênio. Quando esse grupo de produtores mencionava o investimento em

intensificação, se referiam ao melhoramento genético, geralmente associado ao investindo em sementes mais resistentes a pragas ou ao uso de tecnologia que permitisse aumento da produtividade.

Um diferencial entre grandes e pequenos produtores de soja, era que os grandes produtores revelaram possuir facilidade de acesso a assistência técnica, a inovação e as novidades do seu setor. Enquanto que 90% dos pequenos produtores de soja revelaram depender diretamente do suporte técnico e insumos oferecidos pelas empresas, e apenas 10% desse grupo, revelaram trabalhar de forma autônoma, mostrando-se independente na busca por informações sobre técnicas de produção e considerando-se com mais liberdade para negociar sua produção sem depender das empresas. Independentemente disso, ambos os grupos revelaram adotar técnicas de intensificação e estarem atentos a possíveis inovações no setor.

Para os pecuaristas, a intensificação também implica em aumento da produtividade em uma mesma área. No entanto, a adoção de práticas de intensificação, embora conhecida, não é comum entre os pecuaristas da região. De todos os entrevistados, apenas três pecuaristas declararam adotar técnicas de intensificação, nesses casos, integrando agricultura e pecuária (com a rotação de soja e milho) e semiconfinamento dos animais. Além da possibilidade de integração de culturas, os pecuaristas mencionaram o manejo de pastagem, através do sistema rotacionado na criação do boi, tratamento periódico das pastagens e confinamento.

De acordo com os pecuaristas entrevistados, a maior dificuldade na adoção de intensificação estaria na carência de assistência técnica, considerada a principal barreira por 40% dos produtores e altos custos de implementação, considerada a principal barreira por 44% dos produtores. Os demais 6% afirmaram não sentir necessidade de intensificar. Para os representantes das secretarias municipais e

associações, a indução a adoção de práticas de intensificação demandaria um esforço político que já previsto legalmente, mas que não é cumprido na prática. Por essa razão, a decisão de intensificação foi inserida no modelo conjuntamente aos mecanismos de governança mencionados como importantes para a sua adoção.

De todos os entrevistados, 22% migraram para a região durante a década de 70 e 48% na década de 80, todos oriundos dos estados da região sul do Brasil. Os demais 30% dos entrevistados mudaram-se a partir do ano 2000 para a região. Desse grupo, 27% é oriundo da região leste do estado do Pará e migraram diretamente para o município de Novo Progresso, os demais 73% vieram dos estados de Goiás, São Paulo e Paraná e distribuíram-se entre os municípios de Garantã do Norte e Novo Progresso.

Todos os produtores demonstraram conhecer os mecanismos de governança regionais, em embora 60% dos entrevistados tenham afirmado reconhecer a importância da conservação ambiental, especialmente dos recursos hídricos, todos se referiam às políticas de conservação existentes como um entrave à produção agrícola. Os produtores mais antigos mencionaram com detalhes como as negociações de terra era realizadas junto ao INCRA e como as demandas e legislação ambiental mudaram ao longo do tempo.

O exemplo mais citado de mudança nas normas ambientais foi a obrigação de desflorestar 50% da propriedade, para que esta fosse considerada produtiva e permitisse a concessão do título de terra durante os primeiros anos do projetos de colonização na região. Esse desflorestamento “obrigatório”, de acordo com os produtores entrevistados, deveria ser iniciado pelas margens dos rios para que se evitasse o ataque de onças às pessoas e animais que usavam os cursos d’água e para que diminuísse as chances de proliferação de doenças causadas por mosquitos, em especial a malária. No entanto, atualmente as leis ambientais

estipulam que apenas 20% da propriedade pode estar desmatada e que a vegetação no entorno dos cursos d'água devem ser protegidas permanentemente (BRASIL, 2012).

6.2.2. Influência das políticas nas decisões

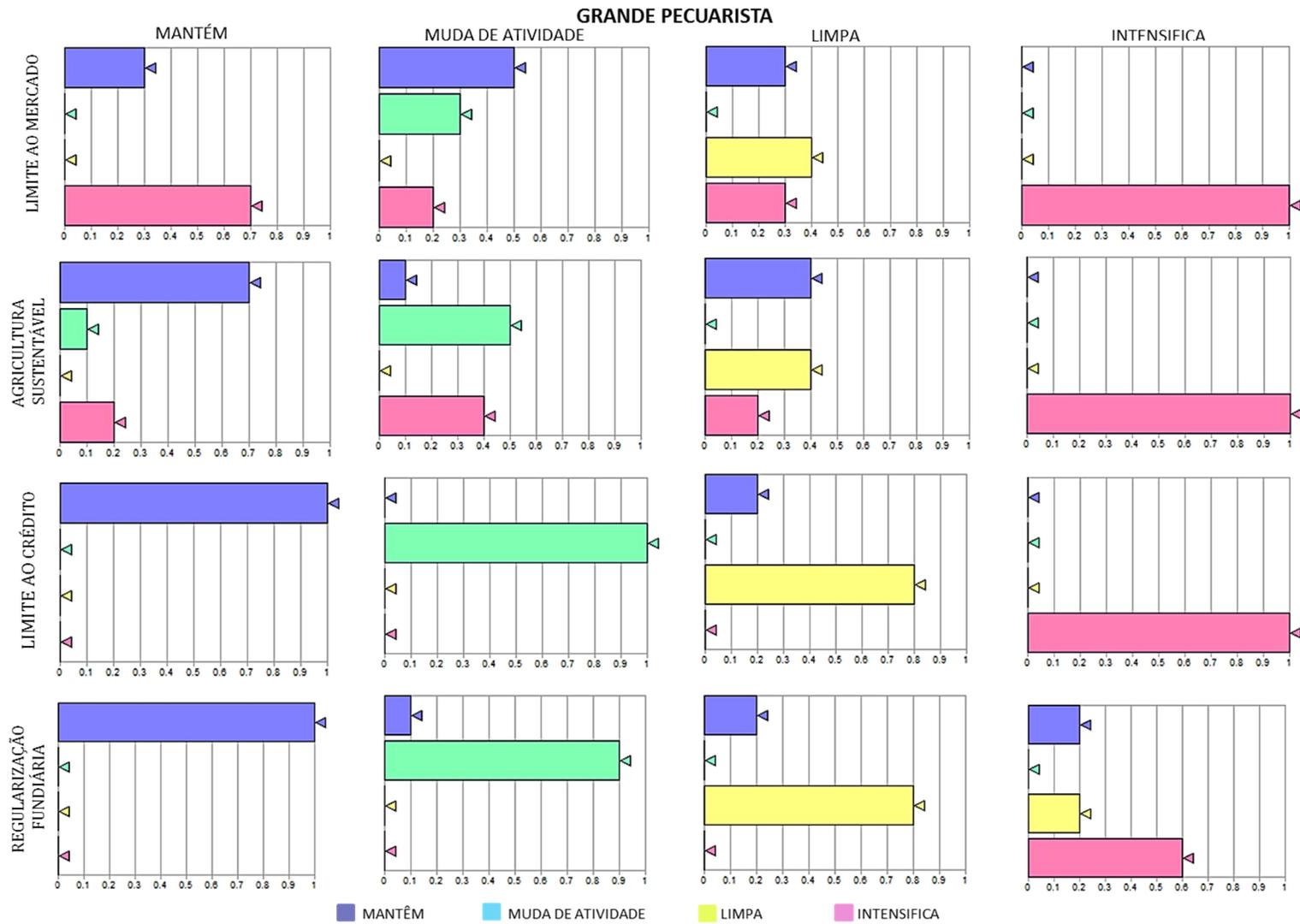
Para todos os grupos de entrevistados, o Código Floresta Brasileiro (CFB) é considerada a lei mais importante. Pois é com base nele que todos os demais mecanismos de governança atuam e também é ele que define as normas nas quais as operações de fiscalização ambiental se baseiam. No entanto, o CFB não influencia diretamente as decisões, pois, de acordo com os produtores, suas normas seriam “as obrigações fundamentais” (frase adotada com frequência pelos produtores) do produtor. Assim, o que influenciaria as decisões seriam os mecanismos suplementares que estimulam ou desestimulam o seu cumprimento.

Para o grupo dos grandes produtores de soja, a Moratória da Soja foi considerada o mecanismo de maior influência nas decisões de uso da terra, sendo fundamental para que as decisões de *manter* e *intensificar* fossem mantidas (Apêndice F.1). As políticas de apoio à produção sustentável são mencionadas em seguida, como fundamentais para que a decisão por “limpeza” da vegetação fosse reavaliada, aumentando a possibilidade dos produtores em optarem pela intensificação, decisão que por sua vez, mostra-se associada diretamente à disponibilidade dos mecanismos de apoio à produção sustentável.

As decisões dos grandes pecuaristas apresentaram comportamentos mais diversos diante dos diferentes mecanismos de governança (Figura 6.1). A possibilidade de inserção de um mecanismo que limite o acesso ao mercado foi considerado como o fator que exerce maior efeito sobre as decisões. Nenhum pecuarista entrevistado mencionou o TAC da Carne espontaneamente e quando questionado sobre o mecanismo, afirmaram ter um conhecimento superficial sobre

o acordo, mas não ter sofrido nenhum tipo de cobranças pela regularidade ambiental pelos frigoríficos com os quais negociam.

Figura 6.1. Reavaliação de decisões do grupo de grandes pecuaristas diante dos mecanismos de governança.



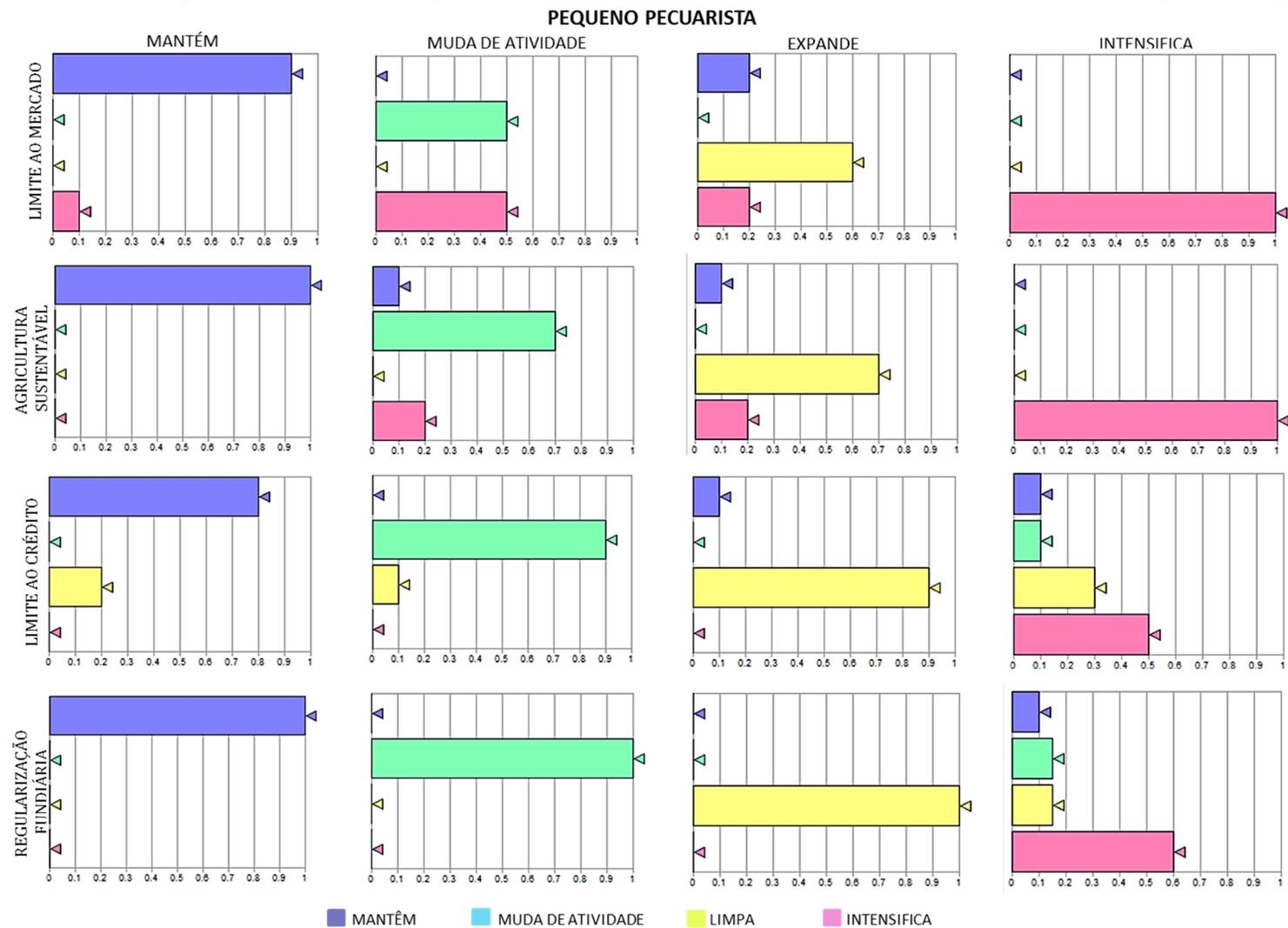
Fonte: Produção da autora.

O efeito desse tipo de mecanismo mostrou-se decisivo para as decisões de mudança de atividade e limpeza da vegetação, as quais tiveram suas probabilidades de ocorrer diminuídas diante da possibilidade de limitações no acesso ao mercado. A reavaliação dessas decisões favoreceram a decisão pela *manutenção* e *intensificação* no uso na terra. Outro conjunto de mecanismos importante para o pecuarista foi o apoio à práticas sustentáveis, que aumentou a probabilidade da opção pela intensificação em todas as decisões, diminuindo drasticamente a opção por limpeza da vegetação (Figura 6.1).

Para os pequenos produtores de soja, a Moratória da Soja e o incentivo à práticas sustentáveis foram os mecanismos de maior importância para reavaliar decisões de uso da terra. A influência desse mecanismo se deu sobre a decisão por *mudança de atividade* e *limpeza* da vegetação que diminuíram sua probabilidade de ocorrer, favorecendo as decisões de *manutenção* e *intensificação* do uso da terra. Os mecanismos de regularização fundiária e limitação ao crédito induziram a reavaliação da decisão por *limpeza*, que teve sua probabilidade diminuída, também favorecendo a *manutenção* do uso da terra (Apêndice F.2).

Para o grupo de pequenos pecuaristas, todas as decisões foram influenciadas pelos mecanismos de governança considerados. O mecanismo de limitação ao mercado é o mecanismo mais importante, favorecendo a decisão por *intensificação* em todas as decisões reavaliadas. Os mecanismos de limitação de crédito influenciou todas as decisões, especialmente a de *intensificação*, cuja reavaliação resultou na possibilidade de todas as outras decisões serem tomadas. Os mecanismos de regularização fundiária também influenciou a decisão pela *intensificação* de modo semelhante, aumentando a probabilidade de outras decisões serem consideradas no lugar da *intensificação*.

Figura 6.2. Reavaliação de decisões do grupo de pequenos pecuaristas diante dos mecanismos de governança



Fonte: Produção da autora

Além da intensificação, a outra decisão que mais sofreu mudança diante dos mecanismos foi a de *mudança de atividade*, que mostrou-se altamente sensível a inserção de mecanismos que limitam o acesso ao mercado e aos incentivo à práticas agrícolas sustentáveis.

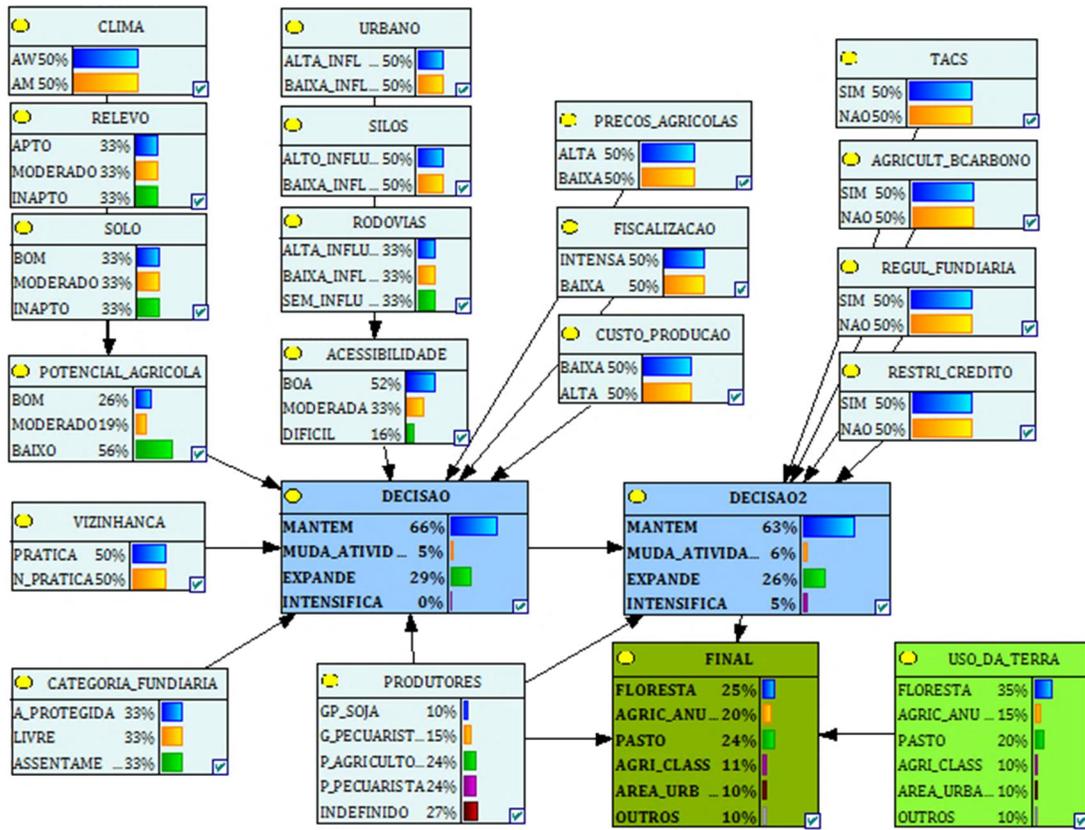
A inserção de mecanismos que limitam acesso ao mercado mostrou-se como potencial influenciador na decisão de *limpeza* da vegetação para todos os grupos de produtores considerados, podendo ser entendido como uma ferramenta importante de combate ao desflorestamento na região. Porém, em entrevistas realizadas com representantes dos órgãos de fiscalização ambiental na região, ressaltou-se que o sucesso desse tipo de mecanismo está relacionado a regularização fundiária, que permite que produtores possam acessa linhas de créditos oficiais e que possam responder pelas infrações ambientais, uma vez que se tenha a propriedade regularizada.

Esse aspecto também transpareceu nos dados gerados pelo modelo, de modo que mecanismos de regularização fundiária também demonstram influência direta na decisão por limpeza, favorecendo a opção pela manutenção da propriedade nas decisões reveladas por todos os grupos de produtores. Comportamento semelhante também é observado na influência dos mecanismos que limitam o acesso ao crédito, onde decisão pela manutenção aumenta em detrimento da decisão pela limpeza.

6.2.3. Rede Bayesiana

A atualização da RB realizada nessa etapa, consistiu na inserção dos mecanismos de governança como variáveis da rede, interligadas diretamente a variável de decisão. A parametrização dos mecanismos sobre as decisões consistiu na tradução direta dos dados obtidos durante a terceira etapa do experimento de campo (Figura 5.16).

Figura 6.3. Rede bayesiana adaptada à simulação dos mecanismos políticos locais.



Fonte: Produção da autora.

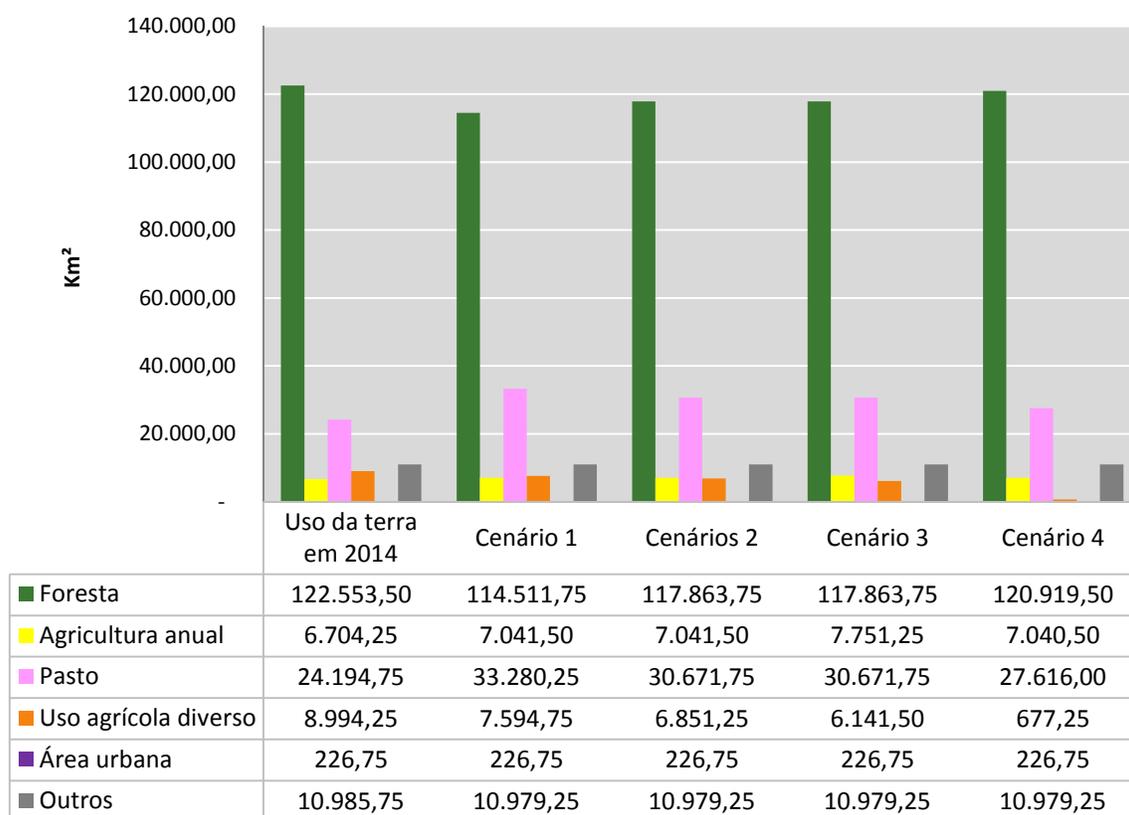
Nessa RB, a maior sensibilidade foram apresentadas pelas quatro variáveis de governança, de modo que mudanças em seus parâmetros permitissem a simulação de diferentes cenários. A imagem de uso da terra utilizada na primeira rodada para a geração de cenários foi a de 2014, a partir de então cada mapa de uso da terra resultante do modelo serviu como entrada para a rodada seguinte, tendo atualizado o mapa de produtores e de vizinhança.

6.2.4. Cenários

Quatro cenários de uso da terra foram gerados para o ano de 2030 considerando diferentes ajustes das variáveis de governança. De todos os cenários, o *Cenário 1*

pode ser considerado o menos otimista, pois se baseia na percepção dos produtores sobre o nível de funcionamento dos mecanismos de governança na região. O cenário prevê um período econômico favorável, onde frequência de fiscalização ambiental considerada razoável não é suficiente para conter a pressão do mercado e a perda de áreas de floresta. Nesse cenário é prevista uma perda de mais de 8.000 km² de floresta, enquanto as áreas de agricultura e pecuária continuam em expansão (Figura 6.4).

Figura 6.4. Quantificação de classes de uso da terra (km²).



Fonte: Produção da autora.

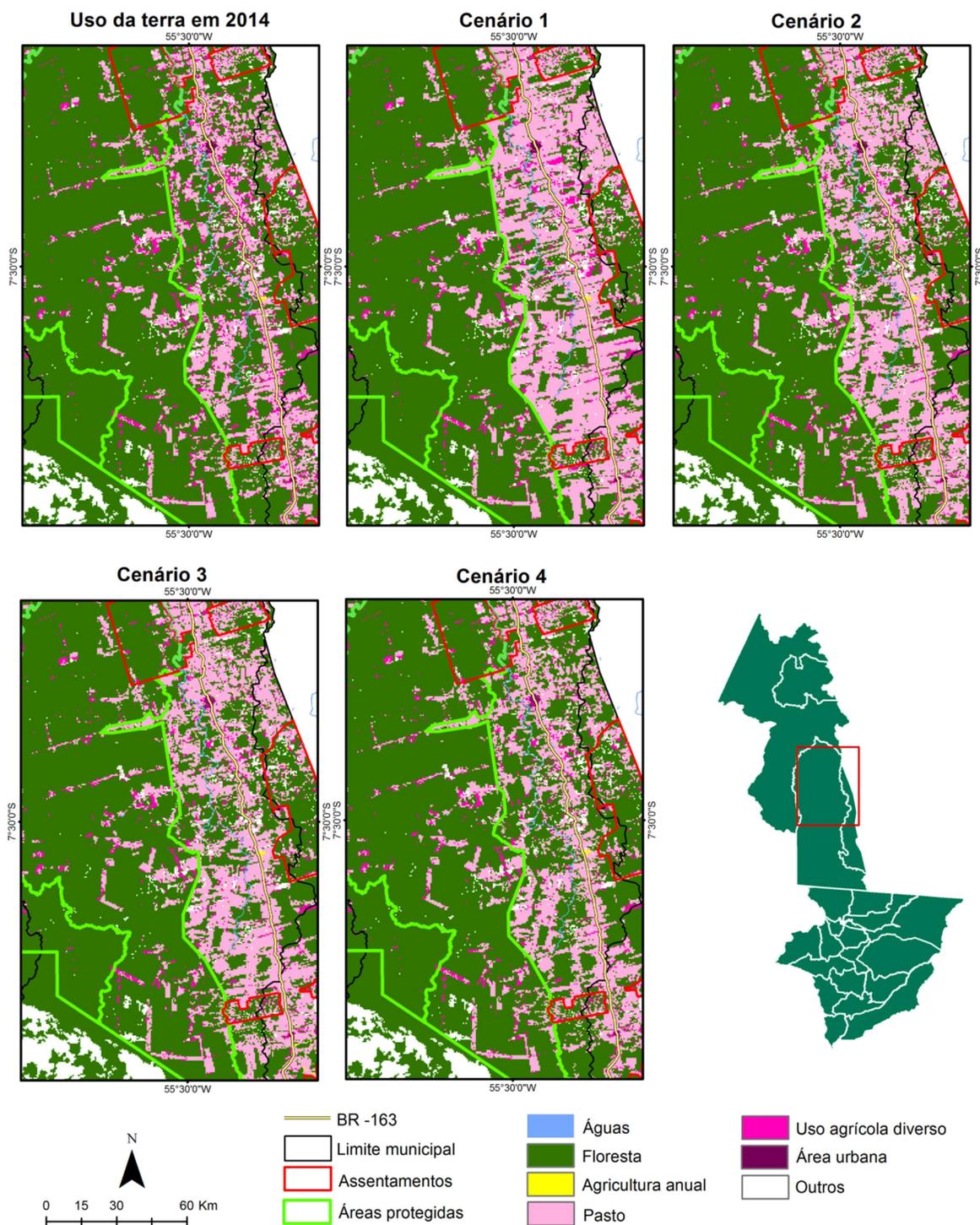
Nos *Cenários 2 e 3* a fiscalização ambiental se intensifica e a exigência pelo cumprimento das normas ambientais pode forçar produtores a tomar decisões que impliquem em um aumento do seu custo de produção, seja optando por sistemas

de intensificação ou optando pela mudança para uma atividade que demanda maior investimento. A diferença entre os dois cenários é que no *Cenário 2* os mecanismos de governança ainda seguem os parâmetros sugeridos pelos produtores, enquanto que no *Cenário 3*, os mecanismos que limitam o acesso ao mercado são simulados para seu pleno funcionamento, tanto para a cadeia produtiva da soja como da pecuária.

Em ambos os cenários, a perda de floresta é menor do que a observada no *Cenário 1*, atingindo aproximadamente 5.000 Km². No *cenário 2*, as classes de pasto e agricultura anual continuam em expansão, enquanto a classe de uso agrícola diverso diminui, o que pode representar a consolidação das atividades de pecuária ou transição para o cultivo de lavouras de soja. No *cenário 3*, o funcionamento dos mecanismos que limitam o acesso ao mercado resultaram na redução das áreas de pasto e uso agrícola diverso enquanto o aumento da área de agricultura anual aumenta, apresentando sua maior área em todos os cenários simulados.

O *Cenário 4*, com todos os mecanismos em plano funcionamento, a perda de floresta é a menor simulada dentre todos os cenários, atingindo uma área de aproximadamente 2.000 km². A área de expansão de agricultura anual também é a menor observada, bem como a expansão das áreas de pastagem e de uso agrícola indefinido. Sugerindo um bom efeito dos mecanismos de governança sobre as decisões de uso da terra. No que concerne à localização dessas mudanças, em todos os cenários a expansão de usos agropecuários se dão próximos a zonas urbanas e de uso agropecuário (Apêndice G.1).

Figura 6.5. Trecho da área de estudo em diferentes cenários.



Fonte: Produção da autora.

Mudanças mais significativas foram notadas em regiões específicas da área de estudo, como na região central do município de Novo Progresso e na localidade de Castelo dos Sonho, onde área de pastagem tendem a se expandir até o limite das áreas protegidas, podendo intensificar a pressão por desflorestamento no interior da FLONA Jamanxim. A expansão do uso agropecuário também pode ser notado no entorno da área urbana de Novo Progresso. A expansão de soja na região só é vista em pequenos fragmentos no *cenário 3*, também no entorno da área urbana do município (Figura 6.5).

Na região de Trairão e na área norte de Itaituba, onde estão localizadas as estações de transbordo de soja, a expansão de pastos é significativa em todos os cenários. O padrão é similar ao histórico local, se estendo ao longo do eixo da BR-163 e se expandindo a partir das manchas de uso agropecuário já existentes (Apêndice G.2). Dinâmica intensa também pode ser visualizada em todos os cenários ao longo da rodovia transgarimpeira, que divide as a APA Tapajós e a FLONA Jamanxim (Apêndice G.3).

Para a região central do Mato Grosso, o cenários apontam um padrão de mudança de uso da terra caracterizado pela a expansão da soja sobre as áreas de pastagens e uso agrícola diverso, que por sua vez, se expandem sobre as áreas de floresta, especialmente no *cenário 1* (Apêndice G.4 e G.5). Os municípios que apresentam dinâmica mais intensa de perda florestal são Marcelândia e Novo Mundo, sendo mais significativa a expansão das áreas de pasto do que o surgimento de novas manchas. A transição de pasto e usos agrícolas diversos para a agricultura anual foram significativos nos municípios de Itaúba, Cláudia e Marcelândia, especialmente no *cenário 3*, quando o modelo indica a maior expansão de agricultura anual na região.

6.3. Discussão

A percepção de atores locais sobre mecanismos de governança e a análise de decisões sobre o uso da terra tomadas e reavaliadas são de grande relevância para análise das políticas e mecanismos de governança experimentados na Amazônia e seu real efeito sobre a dinâmica de uso da terra, sobretudo, sobre o desflorestamento na região. Um aspecto interessante observado na execução desse trabalho é o conhecimento que atores locais possuem sobre a legislação ambiental, embora trate-se de uma região com grande ocorrência de infrações ambientais. Nesse contexto, abordagens baseadas na análise de ganhos oriundos de infrações ambientais e risco de perdas devido a punições podem elucidar aspectos importantes da tomada de decisão sobre o uso da terra na região.

O agrupamento de políticas e mecanismos privados para a conservação de acordo com a sua função, permitiu compreender melhor como os mecanismos que controlam o acesso ao mercado e ao crédito podem ser fundamentais para garantir o cumprimento de normas ambientais pelos produtores. Gibbs et al. (2015) já haviam chamado atenção para importância desses mecanismos, sugerindo que as políticas de combate ao desflorestamento existentes, sozinhas não seriam suficientes para frear o desflorestamento, além disso, o governobrasileiro não contava com mecanismos alternativos ou suplementares capazes de substituir mecanismos como a moratória.

As lacunas na execução dos mecanismos de apoio a cadeias produtivas e práticas sustentáveis previstas em leis, mostraram favorecer práticas inapropriadas e até ilegais na produção agropecuária na região. Avaliações dos planos responsáveis pelo fomento às cadeias produtivas sustentáveis têm apontado grande carência na construção de instrumentos locais que favoreçam grupos envolvidos em práticas sustentáveis. Conforme observado por Mello e Artaxo (2017), embora diretrizes previstas no monitoramento e fiscalização ambiental tenham evoluído, diretrizes

de regularização fundiária e incentivo às práticas sustentáveis não foram colocadas em prática.

Os mecanismos de incentivo a práticas sustentáveis geralmente são executados na modalidade oferta de crédito. O Programa ABC, por exemplo, dispõe de linhas de crédito específicas para o investimento em sistemas intensificados, fixação biológica de nitrogênio, plantio direto e recuperação pastagem, técnicas mencionadas pelo produtores entrevistados. No entanto, a distribuição desse recursos ainda desigual. Em análise realizada por Gianetti (2017) sobre o financiamento pelo programa ABC, o autor demonstrou como esses recursos são acessados, principalmente por grandes produtores e geralmente associados ao agronegócio. Aliado a isso, a dificuldade oriunda da falta de titulação de terras, principalmente por pequenos produtores os impede de acessar essas linhas de crédito especiais.

Além da falta de incentivo às cadeias produtivas sustentáveis, os produtores entrevistados também mencionam a grande burocracia para que se desenvolva com base na sustentabilidade, por exemplo, como a exploração legal de madeira, cuja rígida exigência técnica nos planos de manejo, alto custo com profissionais qualificados e burocracias para exploração são vistas como obstáculos a inserção de produtores no ramo.

Os problemas relacionados a questão fundiária atingem não somente o setor de oferta de créditos, mas também o próprio andamento das ações de regularização e controle ambiental. De acordo com representantes do IBAMA e ICMBio entrevistados em campo, a falta de titulação de terras é um grande barreira para a responsabilização de infratores na Amazônia, pois sem que saiba que é o proprietário de uma área, não se sabe a quem punir. A importância da regularização fundiária também é destacado por Benatti e Fisher (2018) que enxergam na tentativa de regularização de terras promovidas pelo Terra Legal e a

exigência pelo Cadastro Ambiental rural, uma ótima estratégia para que se freie o desflorestamento na região.

O padrão de uso da terra simulado nos cenários mostra-se em consonância com análises realizadas por Morton et al. (2016), que descreve como o detrimento de florestas na região vem ocorrendo em função do aumento das áreas de pastagem, as quais, por sua vez, vêm sendo substituídas por lavouras de soja. Esse padrão também poderia confirmar as observações realizadas por Arima et al. (2011) e Gollnow et al. (2018) sobre o papel da soja no desflorestamento indireto na região. No entanto, considera-se que análises mais específicas sobre esse tópico seriam necessárias para analisar o papel da soja nesse processo, visto que a pressão da Moratória da soja aliada a uma valorização de “terras legais” para a produção, poderia inserir uma nova lógica no processo de expansão agrícola na região.

Embora estudos associem diretamente determinados mecanismos a mudanças nos padrões de mudança de uso da terra na região (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2015; GIBBS et al., 2015; MACEDO et al., 2012; NEWBOLD et al., 2015), os resultados alcançados nesse trabalho sugerem que nenhum grupo de mecanismo sozinho é capaz de interferir na decisão de atores locais sobre o uso da terra, especialmente sobre a sua opção pelo desflorestamento. Além disso, com base nos cenários gerados, notadamente o *cenário 4*, que prevê o pleno funcionamento de todos esses mecanismos conjuntamente, uma taxa zero de desflorestamento não é alcançada. O que corrobora com as sugestões feitas por Börner et al (2014) sobre a necessidade de mecanismos complementares, baseado em compensações financeiras, que incentivem a decisão por usos da terra sustentáveis.

Nesse sentido, também é importante considerar a possibilidade de bonificação de produtores que praticam atividades sustentáveis e vêm cumprindo com as normas ambientais. Pois percebe-se que os mecanismos que buscam punir infratores

também fornecem várias possibilidades de adequação desses infratores às normas ambientais, por exemplo, dando prioridades à regularização fundiária de suas terras (Decreto nº 6.321/2007 e 13.465/2017), anistia pelo desflorestamento realizado (Lei nº 12.651) e liquidação de dívidas com a União (13.465/2017). O que pode ser entendido como beneficiamento a quem descumpriu as normas ambientais.

Essa crença na impunidade das infrações ambientais, as lacunas na implementação dos mecanismos de governança, aliada aos problemas administrativos nos tratos de multas e punições de infratores, também podem influenciar diretamente no efeito dissuasivo das operações de fiscalização ambiental.

6.4. Conclusão do capítulo

Neste capítulo buscou-se associar mecanismos de governança de impacto regional com as decisões de uso da terra reveladas de atores locais, com o intuito de entender como mecanismos com funções específicas ou direcionados para determinadas cadeias produtivas poderiam contribuir para que decisões de uso da terra fossem reavaliadas. Posteriormente, a reavaliação dessas decisões e suas respectivas mudanças foram traduzidas para o modelo de rede bayesianas, a partir da qual foram gerados diferentes cenários para o ano de 2030.

Os conjuntos de mecanismos de governança afetaram de maneira diferente as decisões dos quatro grupos de produtores considerados na pesquisa. A decisão mais sensível a aplicação dos mecanismos é a que implica em desflorestamento (“limpa”), demonstrando que a implementação das políticas e acordos privados em prol da conservação são fundamentais para o controle do desflorestamento na região.

A diferença entre o cenário business as usual (cenário 1) e o mais positivo (cenário 4) está na quantidade de perda florestal simulada, cuja diferença entre os dois cenários é de aproximadamente 7.000 km² e a dinâmica entre classes, que no cenário um prevê a expansão de pastagens e no cenário 4 a expansão da soja. Ainda assim, a expansão da soja não chega a ser significativa na porção norte da área de estudo, mas nesse caso, devido a limitações de aptidão agrícola na região que favorece mais a atividade pecuária do que a agricultura mecanizada.

Em todos os cenários, o desflorestamento é simulado, o que pode significar que os mecanismos de governança considerados no nesse estudo não foram capaz de estimular a reavaliação das decisões pelo desflorestamento a um nível suficiente que implique em uma taxa zero de desflorestamento. O que poderia estar relacionado ao tamanho da amostra do estudo ou ainda aos mecanismos considerados na análise. Entretanto, o levantamento dos mecanismos adotados partiram do levantamento bibliográfico, análises da legislação ambiental de impacto na região e nos mecanismos mencionados pelos entrevistados que costumam influenciar no seu cotidiano, na prática agrícola e no planejamento das atividades futuras.

Assim, partindo do pressuposto de que os mecanismos considerados são suficientes para representar a dinâmica de governança na região, sugere-se que a concepção de novos mecanismos de governança pautem-se em frentes de ação complementares, como o incentivo financeiro à práticas sustentáveis e bonificação de produtores ou cadeias produtivas que corroboram com a produção sustentável e conservação na região.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo fornecer um método para simular mudanças de uso da terra fundamentado na contribuição e percepção de atores locais. O método adotado baseia-se na abordagem de Redes bayesianas, mostrando-se capaz de inserir diferentes aspectos e narrativas qualitativas obtidas em campo a uma base de dados quantitativa e espacialmente explícita.

Um experimento de campo inspirado no arcabouço de *jogos de decisão* foi desenvolvido para estimular a revelação de decisões sobre uso da terra. As variáveis do jogo foram selecionadas à luz da teoria de *law enforcement*. Os resultados obtidos no experimento foram inseridos na rede bayesiana, cujo resultados foram fornecidos com referencial geográfico, possibilitando a execução das etapas de calibração e validação seguindo os mesmos critérios utilizados para modelos de simulação de uso da terra espacialmente explícitos.

Os resultados obtidos permitiram confirmar as duas hipóteses que nortearam esse trabalho:

- 1) *Diferentes grupos de atores locais respondem de forma diversa aos mesmos incentivos políticos e de mercado.*

O que ficou esclarecido no *capítulo 4*, onde também demonstrou-se um padrão de resposta de produtores pertencentes ao mesmo grupo, porém habitantes de diferentes localidades.

- 2) *Redes bayesianas podem representar um avanço na simulação de uso da terra, devido sua capacidade de integrar dados qualitativos e quantitativos na representação de dinâmicas de uso da terra específicas.*

Nesse caso, a abordagem de redes bayesianas não só demonstrou grande potencial em integrar diferentes tipos de informação, como também grande eficácia em simular mudanças de uso da terra e gerar diferentes tipos de cenários.

A fundamentação na teoria de *law enforcement* permitiu que aspectos importantes relacionados a tomada de decisão sobre uso da terra e a influência de incentivos de mercado e de governança nas decisões fossem observados. Seis decisões de uso da terra foram reveladas a partir do jogo decisão, onde cenários baseados em preços agrícolas, custo de produção e frequência de fiscalização ambiental foram gerados.

A etapa de construção do modelo baseado em Redes bayesianas permitiu a tradução das decisões de uso da terra, através de parametrizações para o modelo matemático, permitindo também a estruturação do modelo com base na dinâmica de uso da terra observada e na relação de influência entre variáveis. Os resultados das etapas de calibração e validação do modelo também demonstraram boa performance.

Os cenários gerados basearam-se nos mecanismos de governança já existente na região e na percepção sobre o nível de funcionamento por parte dos atores locais. Os resultados representaram a importância da implementação dos mecanismos de governança para o combate ao desflorestamento na região e para a adoção de práticas sustentáveis.

Os resultados obtidos permitem afirmar que os incentivos de mercado exercem um papel fundamental na tomada de decisão sobre o uso da terra, sendo até superior a influência das fiscalizações ambientais. Padrões de uso da terra regionais podem ser influenciados principalmente pela decisão de limpeza da vegetação o interior das propriedades, no entanto, a decisão por mudança de atividade é significativa em alguns cenários, podendo resultar em transições mais

frequentes da pecuária para a agricultura anual. Embora a decisão pela mudança de atividade seja muito comum aos grupos de pecuaristas, o avanço em direção ao Pará é limitado por critérios agrícolas desfavoráveis, o que não diminui a possível pressão do avanço da fronteira sobre a floresta, através da realização de grandes projetos de infraestrutura para exportação de *commodities* agrícolas na região.

Contextos onde aumento do preço agrícola ocorrem simultaneamente com a queda nos custos de produção, mostram-se muito favoráveis à opção pela supressão da vegetação, mesmo quando se prevê uma frequência de fiscalização intensa. O baixo efeito dissuasivo das fiscalizações podem estar relacionados aos problemas administrativos no trato das multas e punições e infratores, mas também as lacunas dos demais mecanismos de governança, que além de não estimularem o cumprimento das normas ambientais e adoção de práticas agrícolas sustentáveis, também não oferecem alternativas que estimulem a adequação dos produtores às normas legais.

Algumas limitações podem ser observadas no modelo, por exemplo, a necessidade de discretização de dados, o que também vai estar relacionado ao objetivo do trabalho; e estabilidade de classes para as quais não se previu transições e o número reduzido de grupos de atores e amostras. Entretanto, considera-se que os resultados obtidos são capazes de representar a dinâmica regional e decisões de uso da terra em consonância com os padrões de uso da terra observados na região.

O modelo aqui desenvolvido possui flexibilidade para ser adaptado para outras regiões de estudo, englobar mais variáveis e ter suas relações de influência adaptadas. Além disso, a saída espacialmente explícita e os resultados complementares como os índices de incerteza e mapas de probabilidade tornam as redes bayesianas interessantes para que sejam adaptadas ou acopladas a

plataformas de modelagem de uso da terra ou de sistemas com ciclo hidrológico, modelos de emissões e de análise de impactos.

Finalmente, a melhor compreensão sobre o processo de tomada de decisão e a percepção de atores locais sobre os mecanismos de governança experimentados na região pode oferecer importante contribuição para a análise das políticas públicas regionais e reflexão sobre instrumentos complementares que podem dar suporte às ações de combate ao desflorestamento na região, considerando a modernização da fronteira agrícola e das novas estratégias de mercado que afetam a dinâmica de uso da terra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AALDERS, I. Modeling land-use decision behavior with Bayesian belief networks. **Ecology and Society**, v. 13, n. 1, p. 1–23, 2008.

AGTERBERG, F. P.; BONHAM-CARTER, G. F. Deriving weights of evidence from geoscience contour maps for the prediction of discrete events. In: APCO SYMPOSIUM, 22., 1990, Berlin. **Proceedings...** Berlin, 1990.

AGUIAR, A. P. D. **Modelagem de mudança do uso da terra na amazônia: explorando a heterogeneidade intrarregional**. 2006. 208p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

AGUILERA, P. A. et al. Bayesian networks in environmental modelling. **Environmental Modelling and Software**, v.26, n.12, p.1376-1388, 2011.

ALDRICH, S. P. et al. Land-cover and land-use change in the brazilian Amazon: smallholders, ranchers, and frontier stratification. **Economic Geography**, v. 82, n. 3, p. 265–288, 2006. Disponível em:
<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1944-8287.2006.tb00311.x/pdf>>.

ALENCAR, A. et al. O desenvolvimento que queremos: ordenamento territorial da BR-163, Baixo Amazonas, Transamazônica e Xingu. In: FORUM DOS MOVIMENTOS SOCIAIS DA BR-163, 2004, Santarém. **Anais...**2004.

ARIAS, A. Understanding and managing compliance in the nature conservation context. **Journal of Environmental Management**, v. 153, p. 134–143, 2015. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971500081X>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

ARIMA, E. Y. et al. Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 6, n. 2, p. 024010, 2011.

ARMENTERAS, D. et al. Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: three decades of studies (1980–2010). **Global Environmental Change**, v. 46, p. 139–147, 2017. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016304745>>. Acesso em: 7 jan. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS - ABIOVE. **Moratória da soja**. 2014. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=moratoria-da-soja&area=NS0zLTE=>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies? **Environment and Development Economics**, v. 20, n. 06, p. 697–722, 2015. Disponível em: <http://www.journals.cambridge.org/abstract_S1355770X15000078>. Acesso em: 6 mar. 2019.

AZEVEDO, A. A. et al. Limits of Brazil's Forest Code as a means to end illegal deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 29, p. 7653–7658, 2017. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/114/29/7653>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

BARONA, E. et al. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 5, n. 2, p. 024002., 2010.

BARRETEAU, O. et al. The role playing games in an ABM participatory modeling process: outcomes from five different experiments carried out in the last five years. 2002. Disponível em: <<http://cormas.cirad.fr>>.

BARTON, D. N. et al. Bayesian belief networks as a meta-modelling tool in integrated river basin management: pros and cons in evaluating nutrient abatement decisions under uncertainty in a Norwegian river basin. **Ecological Economics**, v. 66, n. 1, p. 91–104, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800908000827>>. Acesso em: 4 set. 2018.

BARTON, D. N. et al. Bayesian networks in environmental and resource management. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 8, n. 3, p. 418–429, 2012.

BAYESFUSION LLC. **GeNie modeler**. 2018. Disponível em: <https://www.bayesfusion.com/genie-modeler/>.

BAZERMAN, M. H.; SEZER, O. Bounded awareness: implications for ethical decision making. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 136, p. 95–105, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749597815001181>>. Acesso em: 2 mar. 2019.

BECKER, B. K. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia : é possível identificar modelos para projetar cenários ? **Parcerias Estratégicas**, v. 6, n. 12, p. 135–159, 2010. Disponível em:
<http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/176/170>

BECKER, G. S. Crime and punishment: an economic approach. **Journal of Political Economy**, v.76, n.2, p.169-217, 1968.

BENATTI, J. H. et al. Questão fundiária e sucessão da terra na fronteira Oeste da Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, v. 11, n. 2, p. 85–122, 2009.

BENATTI, J. H.; FISCHER, L. R. C. New trends in land tenure and environmental regularisation laws in the Brazilian Amazon. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 11–19, 2018.

BÖRNER, J. et al. Forest law enforcement in the Brazilian Amazon: costs and income effects. **Global Environmental Change**, v. 29, p. 294–305, 2014.

BÖRNER, J. et al. Emerging evidence on the effectiveness of tropical forest conservation. **PLoS ONE**, v.11, n.11, e0159152, 2016.

BRASIL. CASA CIVIL. **Plano de desenvolvimento sustentável para a área de influência da BR-163**. Brasília: Casa Civil, 2006.

BRASIL. Decreto-lei nº 1.14 de 1º de abril de 1971. Declara indispensáveis à segurança e ao desenvolvimento nacionais terras devolutas situadas na faixa de cem quilômetros de largura em cada lado do eixo de rodovias na Amazônia Legal, e dá outras providências. **Câmara dos Deputados**, 1971. Disponível em:
<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1970-1979/decreto-lei-1164-1-abril-1971-375317-norma-pe.html>.

BRASIL. Decreto de 13 de fevereiro de 2006. Institui o complexo geoeconômico e social denominado Distrito Florestal Sustentável - DFS da BR-163, e dá outras providências. **Planalto**, 2006. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Dnn/Dnn10766.htm>.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Presidências da República**, 2012. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Balança comercial**. 2018. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 22 dez. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal: balanço 3º fase**. Brasília: MMA, 2016.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. Morgantown: West Virginia University, 2000.

BRONDÍZIO, E. S. et al. Small farmers and deforestation in Amazonia. In: KELLER, M. et al. (Eds.). **Amazônia and global change**. [S.l.] : Wiley Blackwell, 2013. p. 117–143.

BRONDÍZIO, E. S. Abordagens teóricas e metodológicas para o estudo de mudanças de usos da terra. In: VIEIRA, I. C. G.; TOLEDO, P.M.; SANTOS JÚNIOR, R. A. O. (Eds.). **Ambiente e sociedade na Amazônia**. Rio de Janeiro: Garamond, 2014. p. 149–178.

BROWN, D. S.; BROWN, J. C.; BROWN, C. Land occupations and deforestation in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 54, p. 331–338, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.02.003>>.

BROWN, G.; RAYMOND, C. M. Methods for identifying land use conflict potential using participatory mapping. **Landscape and Urban Planning**, v. 122, p. 196–208, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204613002211>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

BROWN, G.; SANDERS, S.; REED, P. Using public participatory mapping to inform general land use planning and zoning. **Landscape and Urban Planning**, v. 177, p. 64–74, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204618302573>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

CALDAS, M. et al. Land cover the and land use change: theorizing peasant of Amazonian deforestation economy. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 97, n. 1, p. 86–110, 2007.

CARRASCO, L. R. et al. Global economic trade-offs between wild nature and tropical agriculture. **PLoS Biology**, v. 15, n. 7, p. e2001657, 2017.

CARVALHO, J. V. F.; CHIANN, C. Redes Bayesianas: um método para avaliação de interdependência e contágio em séries temporais multivariadas. **Revista Brasileira de Economia**, v. 67, n. 2, p. 227–243, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71402013000200003&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 20 mar. 2019.

CASTELLA, J.-C.; TRUNG, T. N.; BOISSAU, S. Participatory simulation of land-use changes in the northern mountains of Vietnam the combined use of an Agent-Based Model, a Role-Playing Game, and a Geographic Information System. **Ecology and Society**, v. 10, n. 1, 2005. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art27/>>.

CASTRO, E. Políticas de ordenamento territorial, desmatamento e dinâmicas de fronteira. **Novos Cadernos NAEA**, v. 10, n. 2, p. 105–126, 2007.

CAVES, C. M.; FUCHS, C. A.; SCHACK, R. Quantum probabilities as Bayesian probabilities. **Physical Review A**, v. 65, n. 2, p. 022305, 2002.

CELIO, E.; GRÊT-REGAMEY, A. Understanding farmers' influence on land-use change using a participatory Bayesian network approach in a pre-Alpine region in Switzerland. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 59, n. 11, p. 2079–2101, 2016.

CELIO, E.; KOELLNER, T.; GRÊT-REGAMEY, A. Modeling land use decisions with Bayesian networks: spatially explicit analysis of driving forces on land use change. **Environmental Modelling and Software**, v. 52, p. 222–233, 2014.

CHARLES, H.; GODFRAY, J.; GARNETT, T. Food security and sustainable intensification. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 369, n. 1639, p. 20120273, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0273>>.

COLOMBO, A. F.; JOLY, C. A. Brazilian Atlantic forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 3 suppl, p. 697–708, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842010000400002&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 4 fev. 2019.

COSTA, S. M. G.. **Grãos na floresta: estratégia expansionista do agronegócio na Amazônia**. 2012. 312p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

COY, M.; KLINGLER, M. Frentes pioneiras em transformação: o eixo da BR-163 e os desafios socioambientais. **Revista Territórios & Fronteiras**, v. 7, n. 1, p. 1–26, 2014.

CUNHA, J. M. P. Dinâmica migratória e o processo de ocupação do Centro-Oeste brasileiro: o caso de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Estudos da População**, v. 23, n. 1, p. 87–107, 2006.

DALLA-NORA, E. L. **Modeling the interplay between global and regional drivers on Amazon deforestation**. 2014. 111p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

DE BRUIN, J. O.; KOK, K.; HOOGSTRA-KLEIN, M. A. Exploring the potential of combining participative backcasting and exploratory scenarios for robust strategies: insights from the Dutch forest sector. **Forest Policy and Economics**, v. 85, p. 269–282, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934117303143>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

DERBYSHIRE, J.; WRIGHT, G. Augmenting the intuitive logics scenario planning method for a more comprehensive analysis of causation. **International Journal of Forecasting**, v. 33, n. 1, p. 254–266, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169207016300152>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Parâmetros de risco climático**. Brasília:Embrapa, 2017.

FEARNSIDE, P. M. Brazil's Cuiabá- Santarém (BR-163) highway: the environmental cost of paving a soybean corridor through the Amazon. **Environmental Management**, v. 39, n. 5, p. 601, 2007.

FERNÁNDEZ, A. J. C. **Do cerrado à Amazônia: as estruturas sociais da economia da soja em Mato Grosso**. 2007. 228p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Rural) - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/14276>>.

FERRIER, S. et al. **Scenarios and models of biodiversity and ecosystem services**. Bonn: IPBES, 2016.

FREDERICO, S. As cidades do agronegócio na fronteira agrícola moderna brasileira. **Cadernos Prudentino de Geografia**, v. 33, n. 1, p. 5–23, 2011.

FU, B. et al. Ecosystem services in changing land use. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 4, p. 833–843, 2015.

GAROUPA, N. The theory of optimal law enforcement. **Journal of Economic Surveys**, p. 267–295, 1997.

GARRETT, R. D.; LAMBIN, E. F.; NAYLOR, R. L. The new economic geography of land use change: supply chain configurations and land use in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 34, p. 265–275, 2013.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. **What drives tropical deforestation?** a meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. Louvain-la-Neuve: CIACO, 2001.

GELMAN, A. Harold Jeffreys's theory of probability revisited. **Statistical Science**, v. 24, n. 2, p. 176–178, 2008. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/0804.3173>><<http://dx.doi.org/10.1214/09-STS284>>.

GIANETTI, G. W. **O plano e programa ABC:** uma avaliação da execução e distribuição dos recursos 2017. 124p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2017.

GIBBS, H. K. et al. Brazil's soy moratorium: supply-chain governance is needed to avoid deforestation. **Science**, v. 347, n. 6220, p. 377–378, 2015.

GODAR, J.r et al. Actor-specific contributions to the deforestation slowdown in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 43, p. 15591–15596, 2014. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/111/43/15591>>. Acesso em: 26 dez. 2018.

GOLLNOW, F. et al. Property-level direct and indirect deforestation for soybean production in the Amazon region of Mato Grosso, Brazil. **Land Use Policy**, v. 78, p. 377–385, 2018.

GOLLNOW, F.; LAKES, T. Policy change, land use, and agriculture: the case of soy production and cattle ranching in Brazil, 2001-2012. **Applied Geography**, v. 55, p. 203–211, 2014.

GOMES, P. C. R. **Amazônia dos rios:** modelagem participativa da gestão do uso do solo para o empoderamento local. 2008. 315p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GOURMELON, F. et al. Role-playing game developed from a modelling process: A relevant participatory tool for sustainable development? a co-construction experiment in an insular biosphere reserve. **Land Use Policy**, v.32, p.96-107, 2013.

GREGG, D.; ROLFE, J. Using experiments to improve understanding of limits to decision making in Grazing Land Management. **Land Use Policy**, v. 54, p. 508–521, 2016.

HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n. 3, p. 235–249, 2003.

HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. Economic causes of deforestation in the Brazilian Amazon: a panel data analysis for the 2000s. **Environmental and Resource Economics**, v. 54, n. 4, p. 471–494, 2013.

HATFIELD, M. **Game theory in management modelling business decisions and their consequences**. [S.l.]: Routledge, 2016.

HOPEWELL, K. The accidental agro-power: constructing comparative advantage in Brazil. **New Political Economy**, v.21, n.6, 536-554, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção agrícola municipal**. 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 9 set. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **IBAMA**. Disponível em: <www.ibama.gov.br>.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. **Acervo fundiário**. 2017. Disponível em: <<http://acervofundiario.incra.gov.br>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite**. 2018. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br>>. Acesso em: 15 out. 2018.

JAKKU, E.; THORBURN, P. J. A conceptual framework for guiding the participatory development of agricultural decision support systems. **Agricultural Systems**, v. 103, p. 675–682, 2010.

KEANE, A. et al. The sleeping policeman: understanding issues of enforcement and compliance in conservation. **Animal Conservation**, v.11, n.2, p.75-82,2008.

KJÆRULFF, U.; VAN DER GAAG, L. C. Making sensitivity analysis computationally efficient. In: CONFERENCE ON UNCERTAINTY IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 16., 2000, San Francisco. **Proceedings...** San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2000.

KLEEMANN, J.; CELIO, E.; FÜRST, C. Validation approaches of an expert-based Bayesian Belief Network in Northern Ghana, West Africa. **Ecological Modelling**, v.365, p.10-29, 2017a.

KOCH, N. et al. Agricultural productivity and forest conservation: evidence from the Brazilian Amazon. **Zoological Journal of the Linnean Society**, aay110, 2019.

KOK, K. The potential of Fuzzy Cognitive Maps for semi-quantitative scenario development, with an example from Brazil. **Global Environmental Change**, v. 19, n. 1, p. 122–133, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378008000794>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

LANDUYT, D.; BROEKX, S.; GOETHALS, P. L. M. Bayesian belief networks to analyse trade-offs among ecosystem services at the regional scale. **Ecological Indicators**, v. 71, p. 327–335, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X16304071?dgcid=raven_sd_recommender_email>. Acesso em: 11 dez. 2018.

LAPOLA, D. M. et al. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 8, p. 3388–93, 2010. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20142492>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 27, 2014.

LAUCHE, K.; CRICHTON, M.; SASKIA BAYERL, P. Tactical decision games-developing scenario-based training for decision-making in distributed teams. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NATURALISTIC DECISION MAKING, 9., 2009, London. **Proceedings...** 2009. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/41199062>>.

LAURANCE, W. F. et al. The future of the Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, p. 438–439., 2001.

LAURANCE, W. F.; SAYER, J.; CASSMAN, K. G. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. **Trends in Ecology and Evolution**, v.29, n.2, p.107-116, 2014.

LI, B.; VOROBAYCHIK, Y. Scalable optimization of randomized operational decisions in adversarial classification settings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND STATISTICS, 18., 2015, San Diego, CA. **Proceedings...** 2015.

LISBOA, D. S. **Previsão do branqueamento dos corais no complexo recifal dos Abrolhos-Ba: uma abordagem bayesiana visando suporte à gestão ambiental.** 2017. 47p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

LIU, W.; SHEN, X.; XIE, D. Decision method for the optimal number of logistics service providers with service quality guarantee and revenue fairness. **Applied Mathematical Modelling**, v. 48, p. 53–69, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X17302536>>. Acesso em: 23 jan. 2019.

LIU, W.; WANG, Y. Quality control game model in logistics service supply chain based on different combinations of risk attitude. **International Journal of Production Economics**, v. 161, p. 181–191, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527314004204>>. Acesso em: 23 jan. 2019.

MACEDO, M. N. et al. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 4, p. 1341–1346, 2012.

MALLAMPALLI, V. R. et al. Methods for translating narrative scenarios into quantitative assessments of land use change. **Environmental Modelling and Software**, v. 82, p. 7–20, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.04.011>>.

MANSKI, C. F. Dynamic choice in social settings Learning from the experiences of others. **Journal of Econometrics**, v. 58, p. 121–136, 1993.

MARCOT, B. G. et al. Guidelines for developing and updating Bayesian belief networks applied to ecological modeling and conservation. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 36, p. 3063–3074, 2006. Disponível em: <<http://cjfr.mc.ca>>.

MARCOT, B. G.; PENMAN, T. D. Advances in Bayesian network modelling: integration of modelling technologies. **Environmental Modelling & Software**, v. 111, p. 386–393, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815218302937>>. Acesso em: 11 dez. 2018.

MARGULIS, S. **Causas econômicas do desmatamento da Amazônia**. Brasília: Banco Mundial, 2003. v. 2

MASANTE, D. **Title spatial implementation of Bayesian networks and mapping**. 2017. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/bnspatial/bnspatial.pdf>.

MELLO, N. G. R.; ARTAXO, P. Evolução do plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, n. 66, p. 108, 2017. Disponível em: <<http://revistas.usp.br/rieb/article/view/133109>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

- MICHALSKI, F.; METZGER, J. P.; PERES, C. A. Rural property size drives patterns of upland and riparian forest retention in a tropical deforestation frontier. **Global Environmental Change**, v. 20, n. 4, p. 705–712, 2010.
- MONTEIRO, M. A. et al. Gravidez na adolescência e associação com indicadores de renda, educação e acesso às tecnologias de informação e comunicação no Brasil e na Amazônia Legal Brasileira. **Saúde e Desenvolvimento Humano**, v. 4, n. 2, p. 21–33, 2016.
- MORTON, D. C. et al. Reevaluating suitability estimates based on dynamics of cropland expansion in the Brazilian Amazon. **Global Environmental Change**, v. 37, p. 92–101, 2016.
- MOULDS, S.; BUYTAERT, W.; MIJIC, A. An open and extensible framework for spatially explicit land use change modelling: the lulcc R package. **Geoscientific Model Development**, v. 8, n. 10, p. 3215–3229, 2015.
- NEAPOLITAN, R. E. **Learning Bayesian networks**. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
- NEPSTAD, D. et al. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118–1123, 2014.
- NEWBOLD, T. et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature**, v. 520, n.7545, p. 45, 2015.
- PACHECO, P. Actor and frontier types in the Brazilian Amazon: assessing interactions and outcomes associated with frontier expansion. **Geoforum**, v. 43, n. 4, p. 864–874, 2012.
- PAK, M. V. **O modelo Transamazon: uma análise para melhorar suas limitações por meio da participação social**. 2008. 182p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- PANG, A. P.; SUN, T. Bayesian networks for environmental flow decision-making and an application in the Yellow River estuary, China. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 5, p. 1641–1651, 2014.
- PARÁ. Decreto Estadual no. 2.099 de 27/01/2010. Dispõe sobre a manutenção, recomposição, condução da regeneração natural, compensação e composição da área de Reserva Legal de imóveis rurais no Estado do Pará e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Pará**, n.31.594, 27 jan. 2010. Disponível em: <http://www.ioepa.com.br/pages/2010/2010.01.27.DOE.pdf>.

PASCUAL, M.; MIÑANA, E. P.; GIACOMELLO, E. Integrating knowledge on biodiversity and ecosystem services: mind-mapping and Bayesian Network modelling. **Ecosystem Services**, v. 17, p. 112–122, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221204161530067X>>. Acesso em: 4 set. 2018.

PASSOS, M. M. BR-163 , de Cuiabá a Santarém: o papel dos agentes e sujeitos no ordenamento do território e na implementação de políticas públicas BR-163. **Ciência & Trópico**, v. 441, n. 1, p. 139–164, 2017.

PEARL, J. Bayesian networks: a model of self-activated memory for evidential reasoning. In: CONFERENCE OF THE COGNITIVE SCIENCE SOCIETY, 7., 1985. **Proceedings...** 1985.

PEARL, J. **Causality**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

PELUSO, M. L. O projeto de colonização particular da Gleba Celeste, na fronteira agrícola. **GeoSul**, v. 3, n. 6, p. 21–38, 1988.

PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

PERZ, S. G.; WALKER, R. T. Household life cycles and secondary forest cover among small farm colonists in the Amazon. **World Development**, v. 30, n. 6, p. 1009–1027, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X02000244>>.

PINHEIRO, T. F. **Padrões e trajetórias de degradação florestal em fronteiras madeiras da Amazônia**. 2015. 207p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3KMS44B>>.

R TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>.

RALHA, C. G. et al. A multi-agent model system for land-use change simulation. **Environmental Modelling & Software**, v. 42, p. 30–46, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815212003064>>. Acesso em: 11 dez. 2018.

REZAEI, M. J.; IZADBAKHSI, H.; YOUSEFI, S. An improvement approach based on DEA-game theory for comparison of operational and spatial efficiencies in urban transportation systems. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 20, n. 4, p. 1526–1531, 2016.

RICHARDS, P. D.; WALKER, R. T.; ARIMA, E. Y. Spatially complex land change: The indirect effect of Brazil's agricultural sector on land use in Amazonia. **Global Environmental Change**, v. 29, p. 1–9, 2014.

ROHRBACH, B.; LAUBE, P.; WEIBEL, R. Comparing multi-criteria evaluation and participatory mapping to projecting land use. **Landscape and Urban Planning**, v. 176, p. 38–50, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204618301476>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

SANTOS, M. **Atlas nacional do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

SCHIELEIN, J.; BÖRNER, J. Recent transformations of land-use and land-cover dynamics across different deforestation frontiers in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 76, p. 81–94, 2018.

SCHMITT, J. **Crime sem castigo**: a efetividade da fiscalização ambiental para o controle do desmatamento ilegal na Amazônia. 2015. 188p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SILVA, R. G. D. C. Amazônia globalizada: da fronteira agrícola ao território do agronegócio—o exemplo de Rondônia. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, v. 23, 2015.

SIMÕES, M.; FERRAZ, R. P. D.; ALVES, A. O. Integridade ecossistêmica a partir de dados de sensoriamento remoto e redes bayesianas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 3, 2017.

SOARES-FILHO, B. et al. **Modeling environmental dynamics with Dinamica EGO**. 2009. Disponível em: <www.csr.ufmr.br/dinamica>.

SOARES-FILHO, B. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 1998.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R. Traditional conservation strategies still the best option. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 11, p. 608, 2018.

SOARES FILHO, B. et al. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520, 2006.

TAN, R. et al. A game-theory based agent-cellular model for use in urban growth simulation: a case study of the rapidly urbanizing Wuhan area of central China. **Computers, Environment and Urban Systems**, v.49, p.15-29, 2015.

THERNEAU, T. **A short introduction to recursive partitioning**. Stanford, California: Stanford University, 1983. (Orion Technical Report, 21).

THERNEAU, T. M.; ATKINSON, E. J. **An Introduction to Recursive Partitioning Using the RPART Routines**. 1997. Disponível em: <https://www.mayo.edu/research/documents/biostat-61pdf/doc-10026699>.

TORRES, M. (Org.). **BR-163 Cuiabá-Santarém: geopolítica, grilagem, violência e mundialização**. Brasília: CNPq, 2005.

TRAIRÃO. PREFEITURA. **História do município de Trairão**. 2019. Disponível em: <<http://www.trairao.pa.gov.br/a-cidade/historia>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. Population Division. **World Population Prospects: the 2017 revision, methodology of the United Nations population estimates and projections**. New York: United Nations, 2017.

VAN DER SLUIS, T. et al. Drivers of european landscape change: stakeholders' perspectives through Fuzzy Cognitive Mapping. **Landscape Research**, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01426397.2018.1446074?needAccess=true>.

VAN NES, E. H. et al. What do you mean, 'tipping point'? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 31, n. 12, p. 902–904, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534716301835>>. Acesso em: 9 mar. 2019.

VAN VLIET, J. **Calibration and validation of land-use models**. 2013. 171p. Tese (Doutorado) - Wageningen University, Wageningen, 2013.

VAN VLIET, M.; KOK, K.; VELDKAMP, T. Linking stakeholders and modellers in scenario studies: the use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. **Futures**, v. 42, n. 1, p. 1–14, 2010.

VEIGA, M. M.; SILVA, A. R. B.; HINTON, J. J. O garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. In: TRINDADE, R. B. E.; BARBOSA FILHO, O. (Eds.). **Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM; PUC, 2002. p. 277–305. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1233/extracao-ouro-cap.11.pdf?sequence=1>>.

VENABLES, V. N.; RIPLEY, B. D. **Modern applied statistics with S**. Berlin: Springer, 2002.

VERBURG, P. H. et al. Land use change modelling: Current practice and research priorities. **GeoJournal**, v.61, n.4, p.309-324, 2004.

VERBURG, P. H. et al. Land system science and sustainable development of the earth system: a global land project perspective. **Anthropocene**, v. 12, p. 29–41, 2015a.

VERBURG, P. H. et al. Methods and approaches to modelling the anthropocene. **Global Environmental Change**, v. 39, p. 328–340, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378015300285>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

VERBURG, R. et al. The impact of commodity price and conservation policy scenarios on deforestation and agricultural land use in a frontier area within the Amazon. **Land Use Policy**, v. 37, p. 14–26, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837712001913>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

VIEIRA PAK, M.; CASTILLO BRIEVA, D. Designing and implementing a Role-Playing Game: a tool to explain factors, decision making and landscape transformation. **Environmental Modelling and Software**, v. 25, n. 11, p. 1322–1333, 2010.

VOSTI, S. A.; WITCOVER, J. Slash-and-burn agriculture: household perspectives. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 58, n. 1, p. 23–38, 1996.

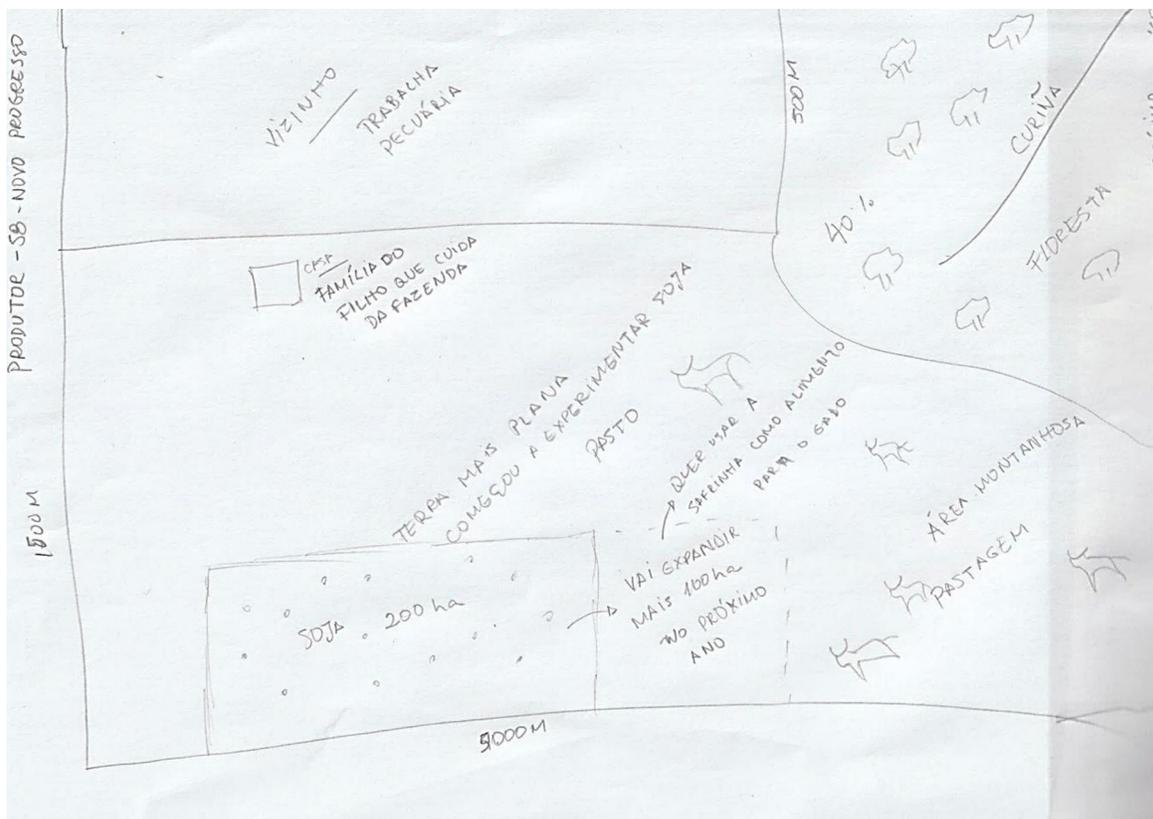
WALKER, R.; MORAN, E.; ANSELIN, L. Deforestation and cattle ranching in the Brazilian Amazon: external capital and household processes. **World Development**, v. 28, n. 4, p. 683–699, 2000.

WIEBE, K. et al. Scenario development and foresight analysis: exploring options to inform choices. **Annual Review of Environment and Resources**, v.43, p.545-570, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1146/annurev-environ->>.

ZHONG, C.-B. The ethical dangers of deliberative decision making. **Administrative Science Quarterly**, v. 56, n. 1, p. 1–25, 2011.

APÊNDICE A – CROQUI PRODUCIDO NA OCASIÃO DO JOGO DE DECISÃO

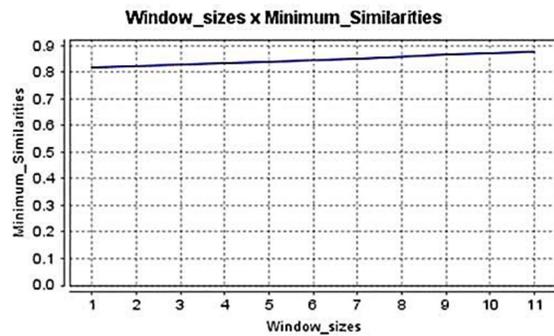
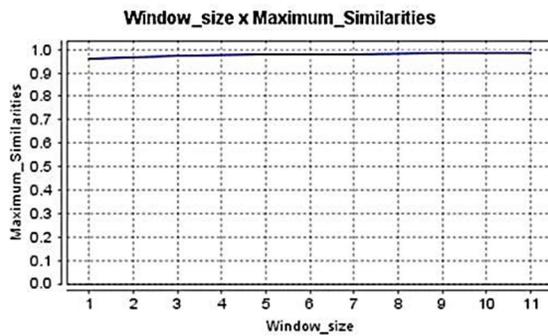
Figura A.1 . Croqui de propriedade.



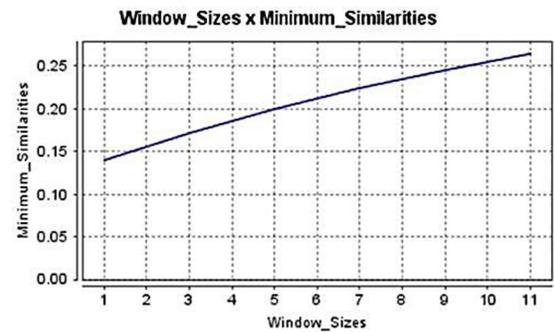
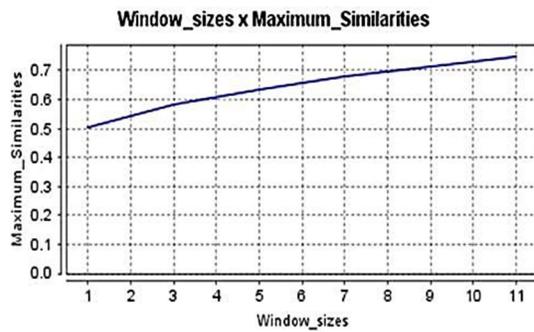
APÊNDICE B – GRÁFICOS GERADOS NA ETAPA DE VALIDAÇÃO

Figura B.1– Gráficos gerados a partir do método de validação por decaimento exponencial.

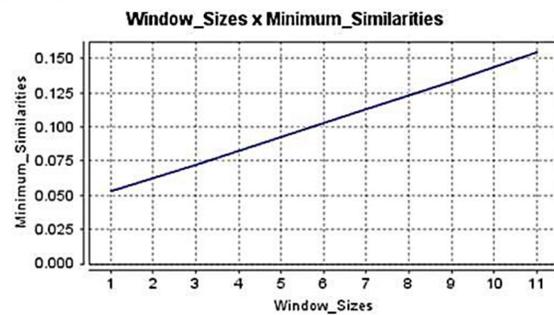
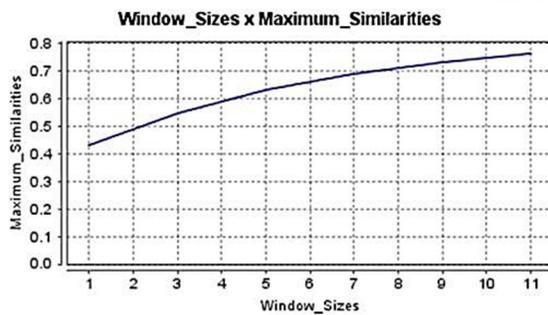
SIMULADO 1



SIMULADO 2



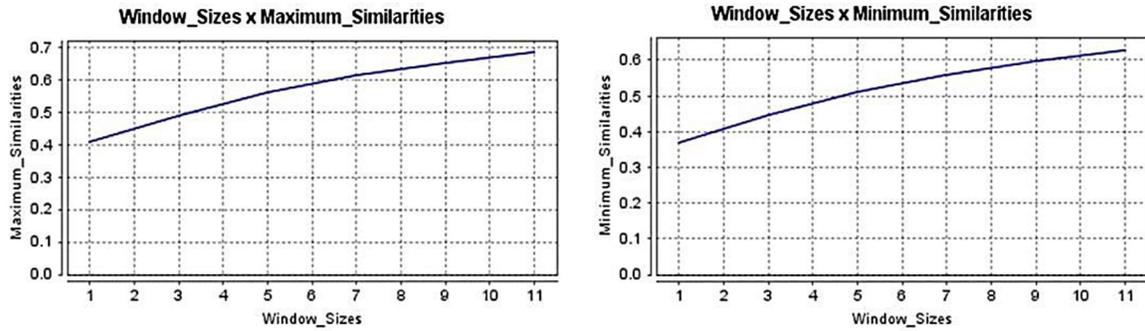
SIMULADO 3



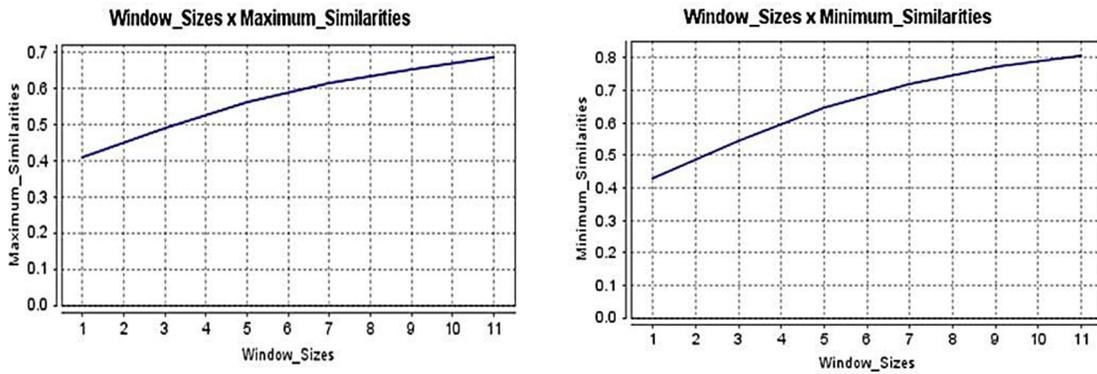
Fonte: Produção da autora.

Figura B.2. Gráficos gerados a partir do método de validação por decaimento exponencial.

SIMULADO 4



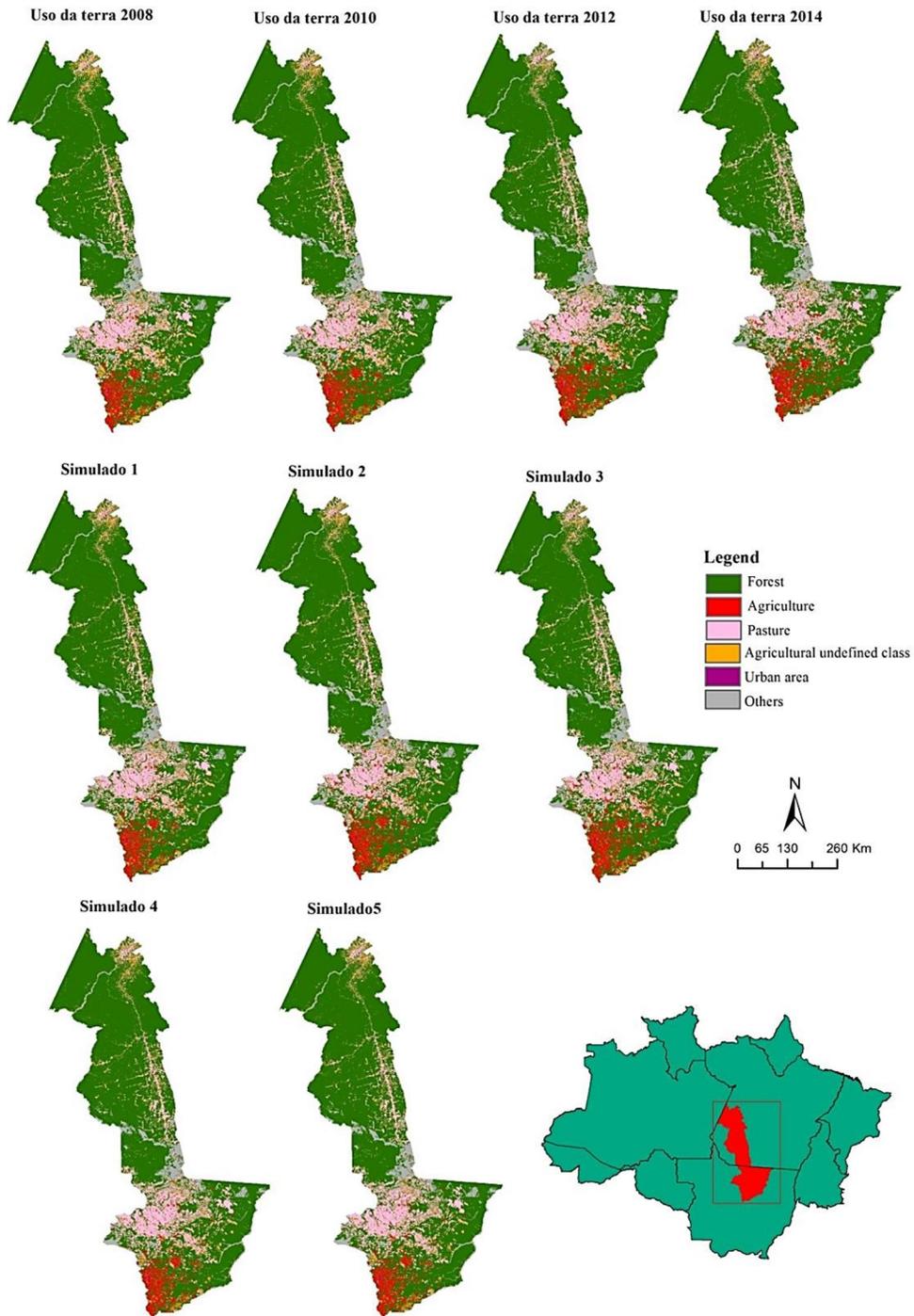
SIMULADO 5



Fonte: Produção da autora.

APÊNDICE C – MAPAS DE USO DA TERRA SIMULADOS

Figura C.1 – Mapas de uso da terra observados e simulados para a totalidade da área de estudo.



Fonte: Produção da autora.

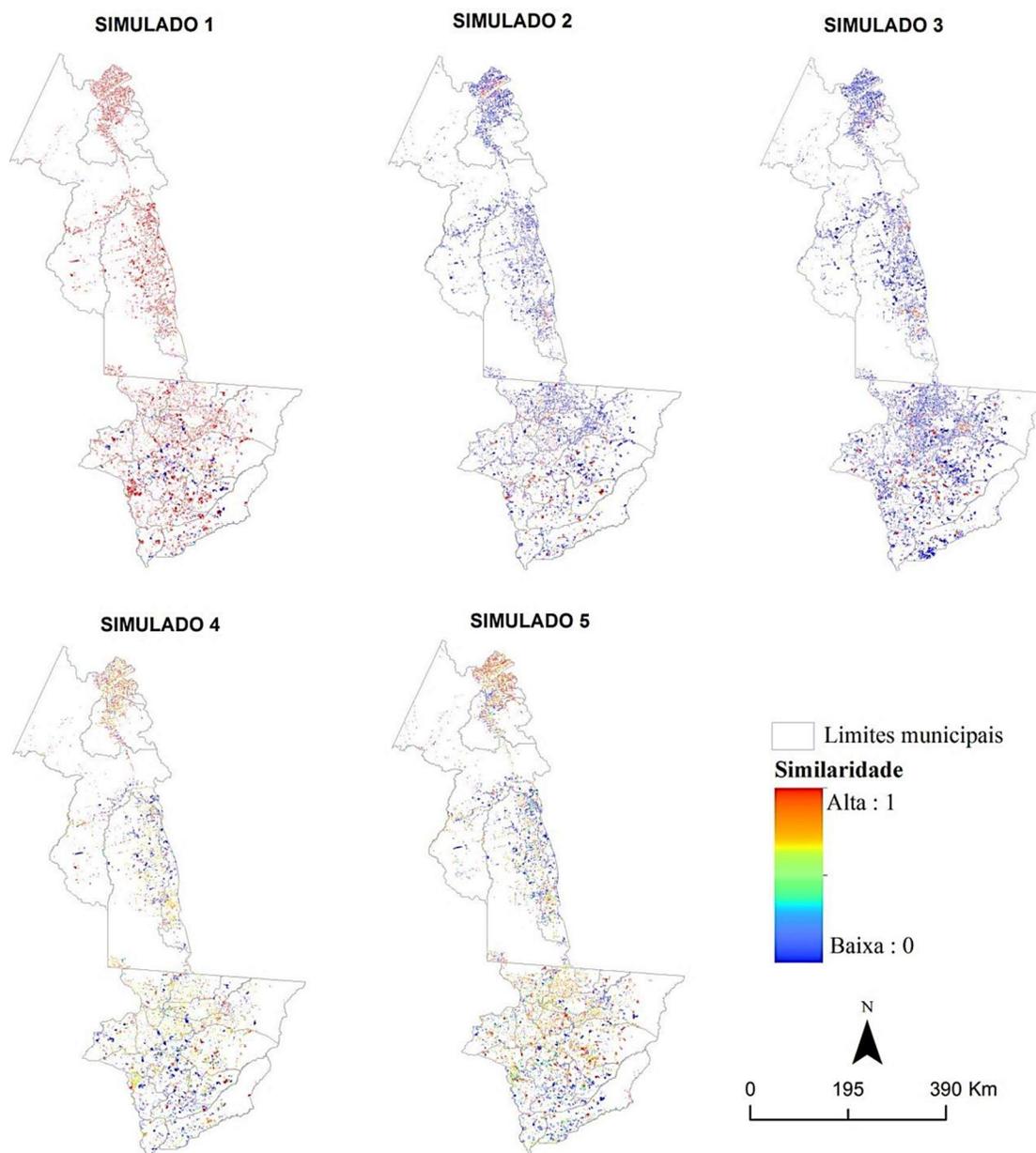
Figura C.2. Trecho da área de estudo.



Fonte: Produção da autora.

APÊNDICE D – MAPAS DE SIMILARIDADE

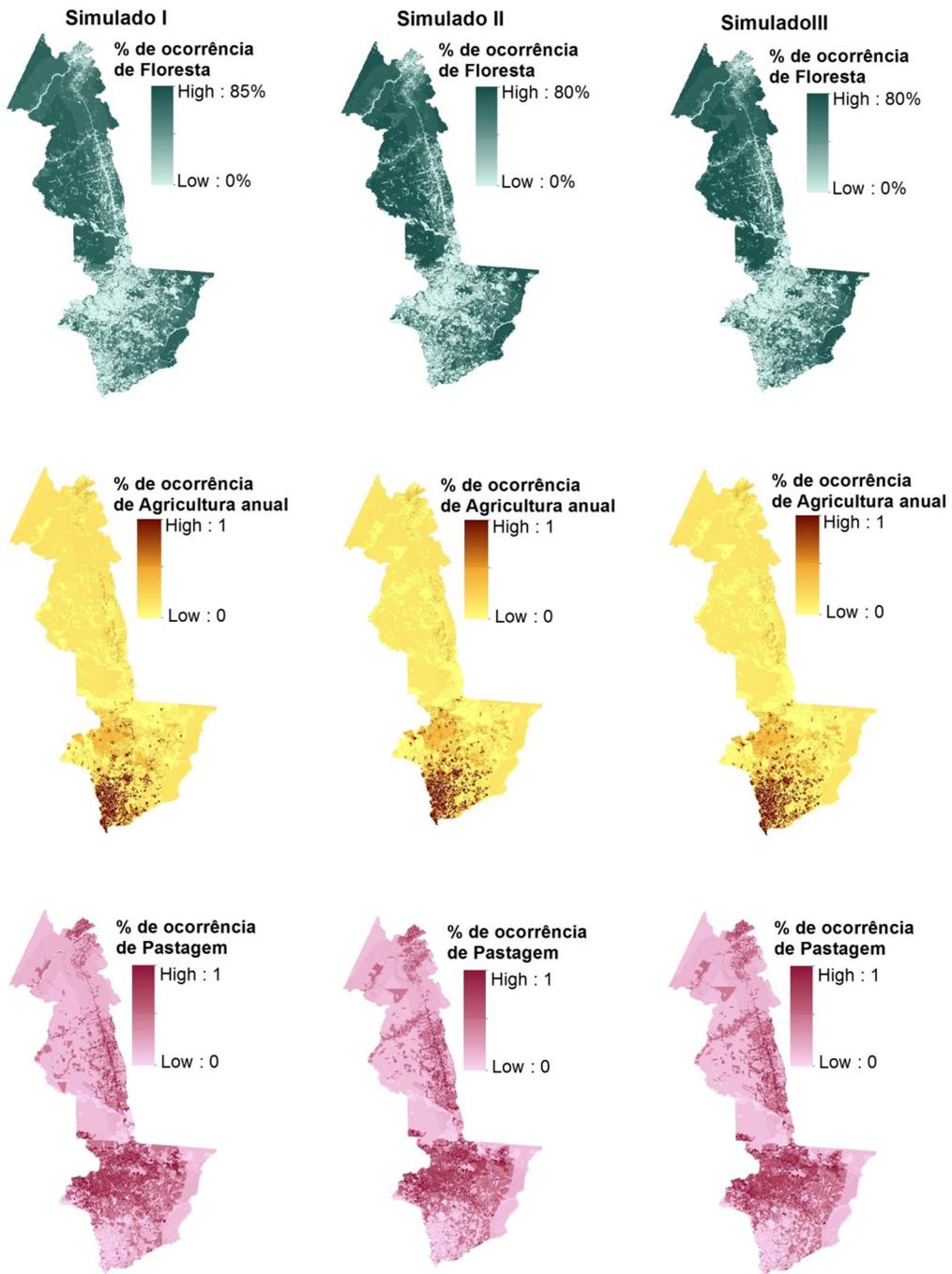
Figura D.1. Mapas de similaridade gerados pela função de Decaimento Exponencial.



Fonte: Produção da autora.

APÊNDICE E – MAPAS DE PROBABILIDADE POR CLASSE

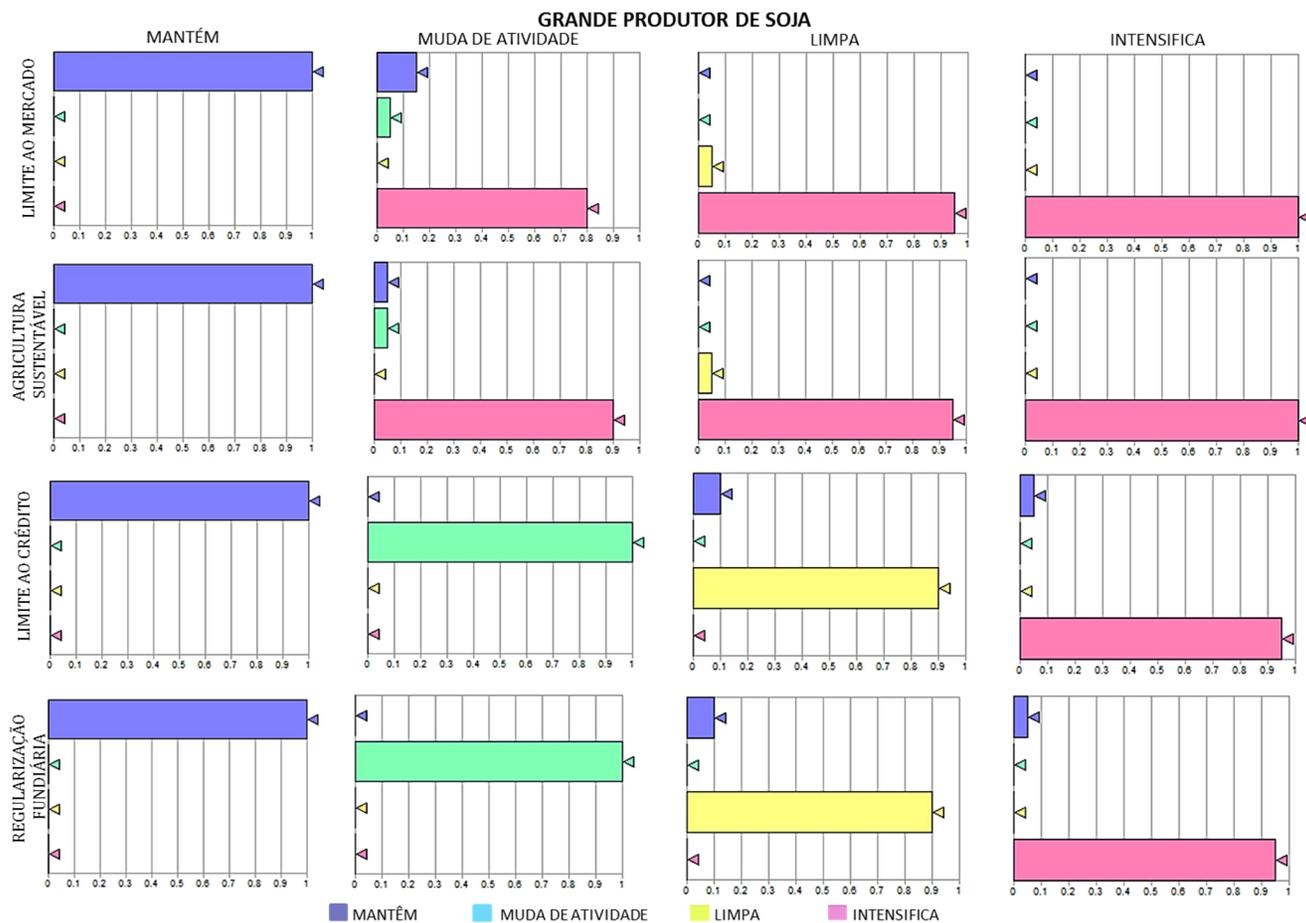
Figura E.1 – Probabilidade de ocorrência das classes Floresta, Agricultura anual e Pasto.



Fonte: Produção da autora.

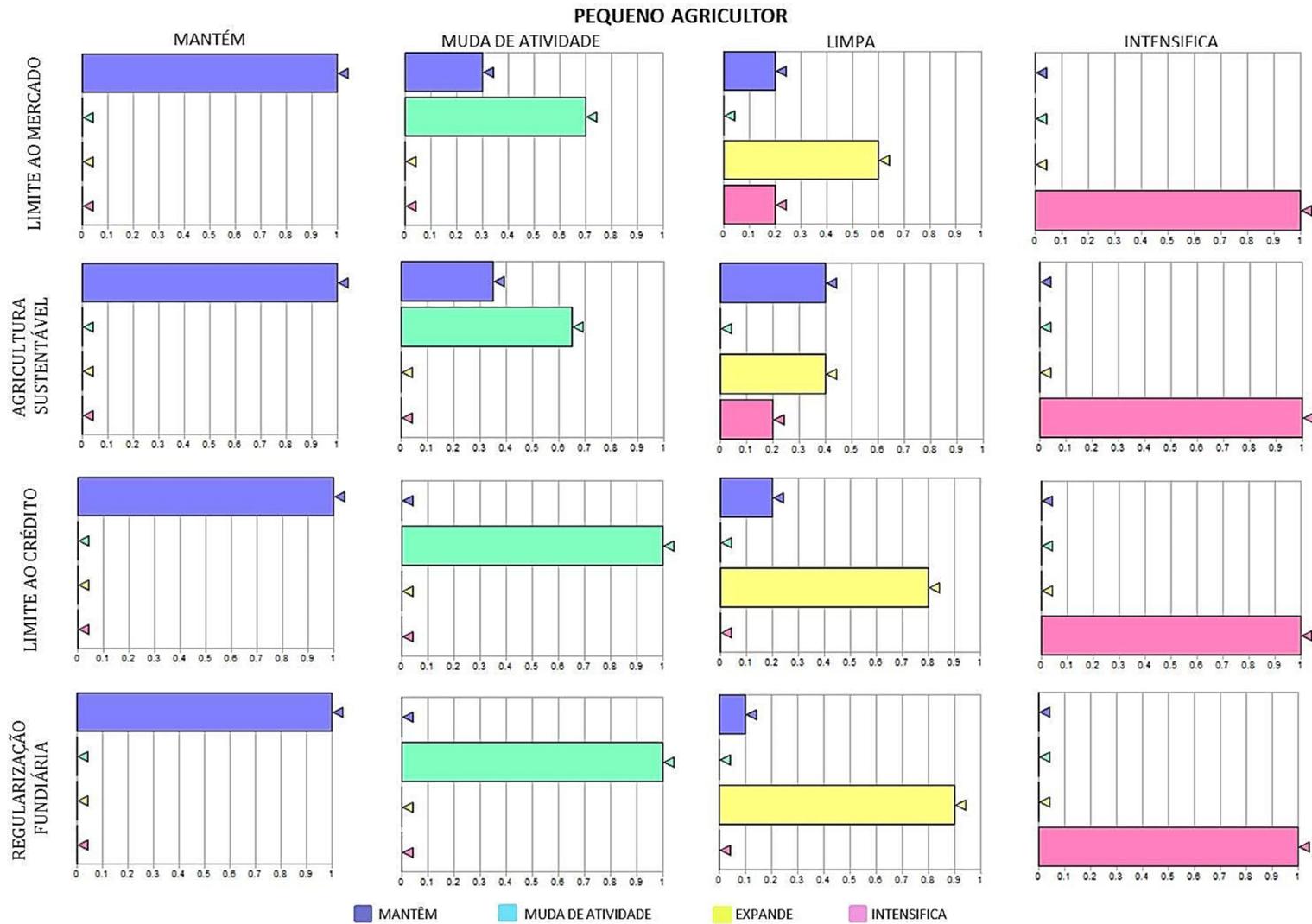
APÊNDICE F – GRÁFICOS DE DECISÕES REAVALIADAS DIANTE DE MECANISMOS DE GOVERNANÇA

Figura F.1. Decisões reavaliadas pelo grupo de grande produtores de soja diante dos mecanismos de governança.



Fonte: Produção da autora.

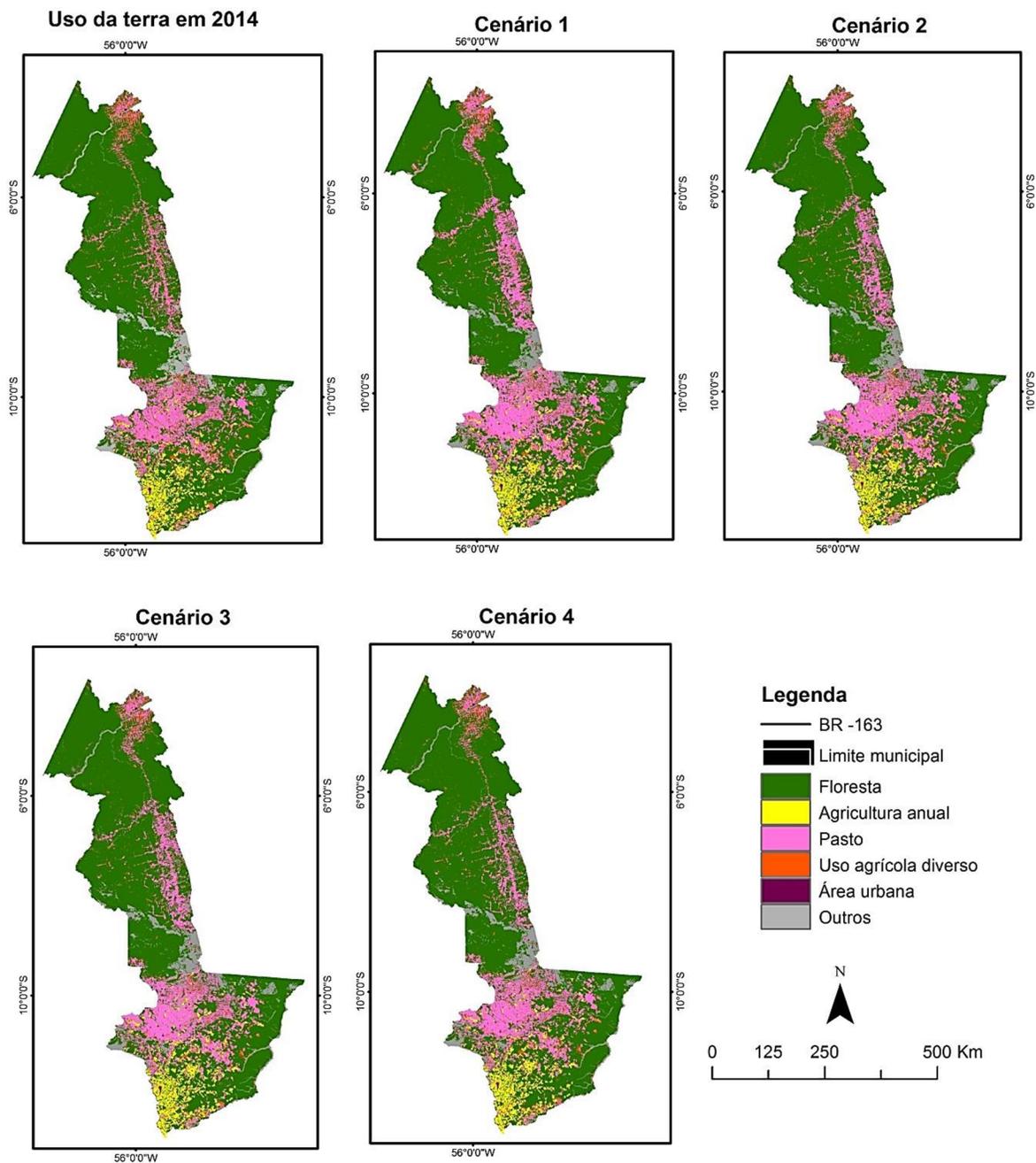
Figura F.2. Decisões reavaliadas pelo grupo de pequenos agricultores diante dos mecanismos de governança.



Fonte: Produção da autora.

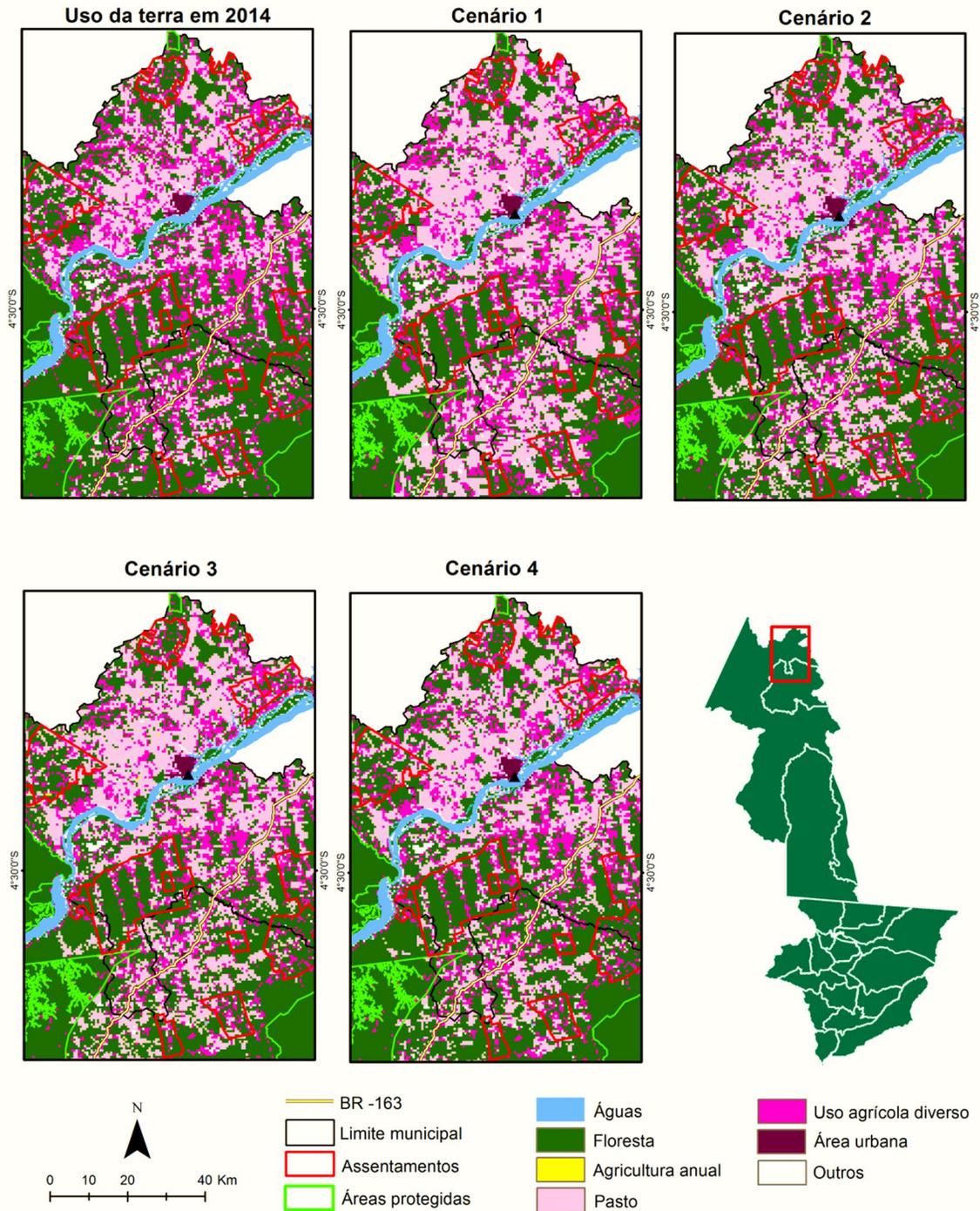
APÊNDICE G – CENÁRIOS DE USO DA TERRA

Figura G.1. Cenários de uso da terra para a área total estudada.



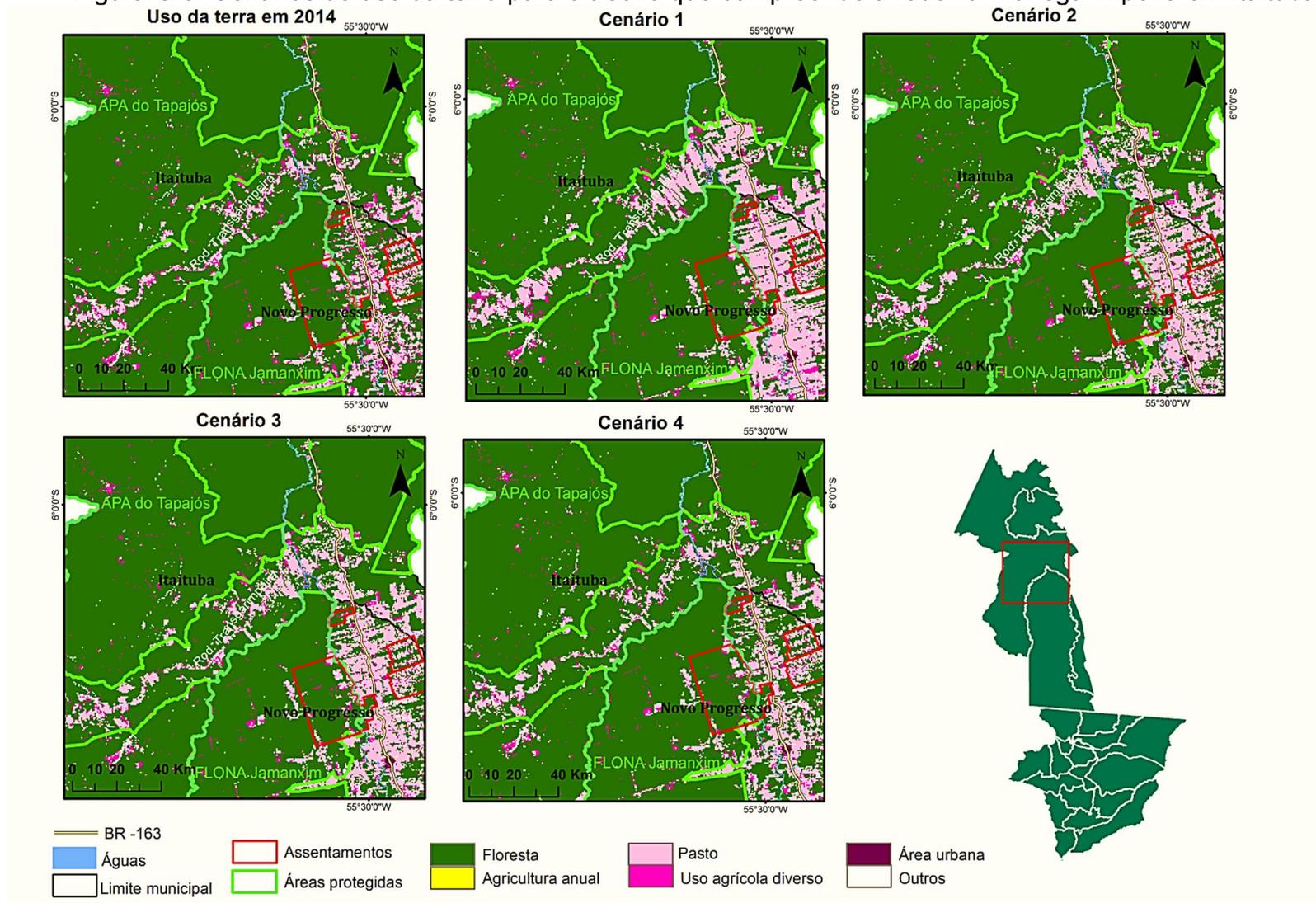
Fonte: Produção da autora.

Figura G.2. Cenários de uso da terra para o trecho dos municípios de Trairão e Itaituba.



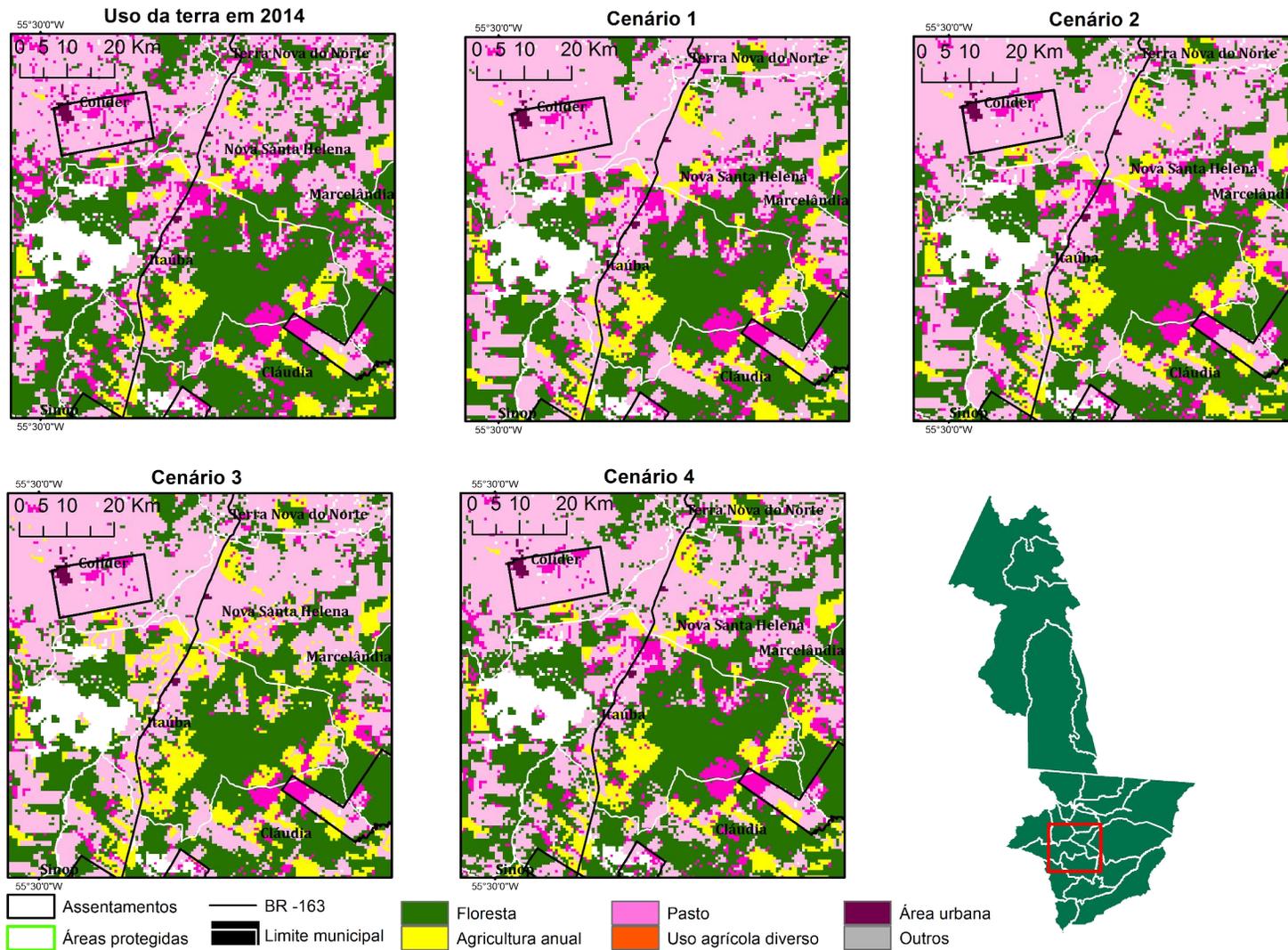
Fonte: Produção da autora.

Figura G.3. Cenários de uso da terra para o trecho que compreende a rodovia Transgarrimpeira em Itaituba.



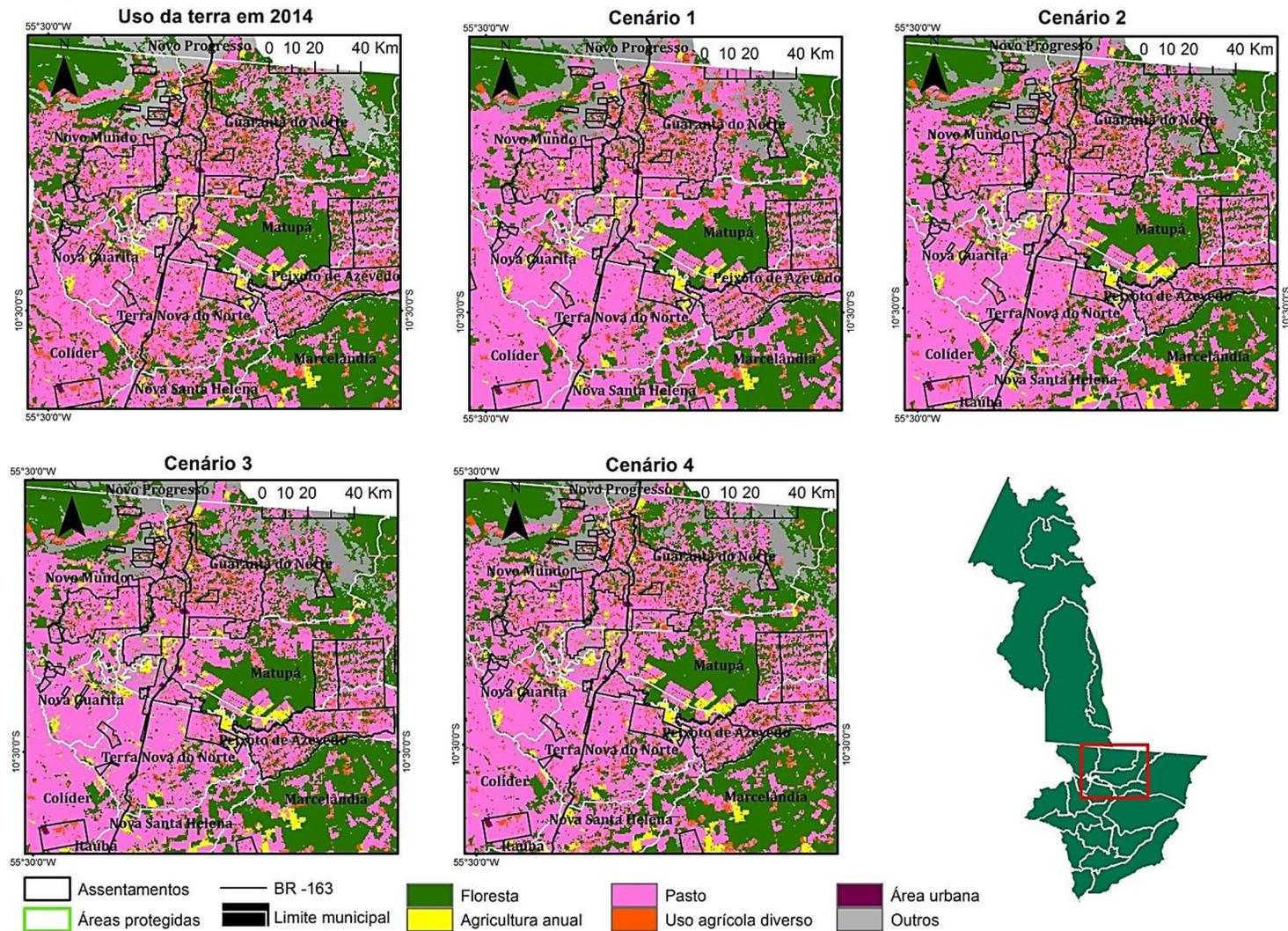
Fonte: Produção da autora.

Figura G.4. Cenários de uso da terra para o trecho dos municípios de Colniza e Cláudia.



Fonte: Produção da autora.

Figura G.5. Cenários de uso da terra para o trecho dos municípios de Guarantã do Norte a Colíder.



Fonte: Produção da autora.