

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

Índice de intensificação da pecuária de corte: uma análise multivariada e espacial

Marco Aurelio Sigismondi Ahuaji Filho

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

**Piracicaba
2022**

Marco Aurelio Sigismondi Ahuaji Filho
Bacharel em Ciências Econômicas

Índice de intensificação da pecuária de corte: uma análise multivariada e espacial

Orientadora:
Profa. Dra. **SÍLVIA HELENA GALVÃO DE MIRANDA**

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

Piracicaba
2022

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

Ahuaji Filho, Marco Aurelio Sigismondi

Índice de intensificação da pecuária de corte: uma análise multivariada e espacial / Marco Aurélio Sigismondi Ahuaji Filho. - - Piracicaba, 2022.

98 p.

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

1. Sustentabilidade ambiental 2. Emissões de gases de efeito estufa 3. Mudança climática 4. Recuperação de pastagens 5. Tecnologia poupa-terra 6. Integração lavoura-pecuária-floresta I. Título

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre estar presente ao meu lado e das pessoas que eu tanto amo.

A minha esposa pelo apoio e amor incondicional.

Aos meus pais e irmãos pelo amor, educação, apoio e incentivo.

A minha orientadora, professora Sílvia Helena Galvão de Miranda, pelo respeito, confiança, amizade e cumplicidade. Agradeço também pela orientação, conhecimento e oportunidades dentro e fora da vida acadêmica. Gratidão eterna!

Aos professores Carlos Eduardo de Freitas Vian, José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho e Joaquim Bento de Souza Filho pelas valiosas contribuições e sugestões durante a banca de qualificação e de defesa. Agradeço também aos professores José Eduardo Holler Branco e Lilian Maluf de Lima.

Um agradecimento todo especial para a professora Augusta Pelinski Raiher, por estar sempre presente na minha formação e trajetória acadêmica. Tenho um imenso carinho e admiração pela senhora, muito obrigado!

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós Graduação em Economia Aplicada pelo apoio e todo o conhecimento compartilhado.

A toda equipe do CEPEA/ESALQ pelas oportunidades e aprendizados.

Ao Rodrigo Alves Pessanha, Eliana Maria Garcia e a Léia por serem tão prestativos e sempre prontos para ajudar.

Aos grandes amigos e irmãos William Barbosa e Anderson Fontes Filho por tudo!

Aos amigos da pós-graduação pela amizade, companhia e por toda ajuda. Um agradecimento todo especial para a Isabela, Duda e o Sávio.

A Elisangela Gelatti pela enorme ajuda!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido.

E a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Hipótese	13
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo geral.....	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 Organização do trabalho	14
2 A BOVINOCULTURA DE CORTE BRASILEIRA	15
2.1 Produção, ocupação da terra e produtividade	15
2.2 Caracterização das fases e dos sistemas de produção	17
2.3 Impactos ambientais.....	18
2.3.1 Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na produção animal	19
2.3.2 Emissões por uso do solo	20
2.3.3 Emissões por mudança de uso do solo.....	22
2.4 Algumas práticas de sustentabilidade ambiental na pecuária bovina	24
2.5 Evidências empíricas sobre sustentabilidade ambiental	27
3 METODOLOGIA	31
3.1 Análise fatorial pelo método de componentes principais	31
3.2 Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC).....	33
3.3 Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE).....	35
3.3.1 Autocorrelação espacial global e local univariada.....	35
3.3.2 Autocorrelação espacial global e local bivariada.....	37
3.4 Fonte e tratamento dos dados.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 A evolução da pecuária de corte no Brasil.....	45
4.1.1 Distribuição geográfica da pecuária de corte.....	45
4.1.2 Mudanças no uso da terra na pecuária de corte	49
4.2 Fatores sobre práticas de sustentabilidade ambiental	61
4.3 Intensificação da pecuária nas microrregiões brasileiras	67

4.4 Análise espacial da intensificação da pecuária brasileira.....	72
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICES	97

RESUMO

Índice de intensificação da pecuária de corte: uma análise multivariada e espacial

A pecuária bovina de corte, ao mesmo tempo que tem um papel socioeconômico relevante no Brasil e assumiu destaque internacional pelo desempenho exportador favorável do setor nas últimas décadas, vem sendo desafiada, crescentemente, pelo aumento das preocupações com seus impactos ambientais. O objetivo principal deste estudo consiste em analisar se, na evolução da pecuária de corte, entre 2006 e 2017, houve uma intensificação da produção sustentável e se esta exerce efeito sobre as emissões de gases de efeito estufa, em um recorte para as microrregiões brasileiras. Para tanto, foi conduzida uma análise multivariada e espacial, utilizando dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017. A primeira parte do estudo baseia-se em uma análise exploratória dos dados Censitários Agropecuários (IBGE) relacionados ao rebanho bovino e uso da terra, com o propósito de descrever a evolução e a distribuição espacial entre essas observações. A segunda parte da análise está fundamentada na construção de um índice de intensificação, por meio da análise fatorial por componentes principais, com o objetivo de visualizar distribuições espaciais e descobrir padrões de associação espacial (*clusters*) entre as variáveis de interesse. Como corolário, observou-se que a pecuária de corte está cada vez mais intensiva em tecnologias sustentáveis, aqui compreendidas como sustentáveis um conjunto de práticas identificadas a partir dos dados do Censo Agropecuário, e estes indicadores para tecnologias mostram uma relação inversa com as emissões de GEE da pecuária de corte. O desafio é que o conhecimento e a tecnologia possam chegar de forma acessível a todos os produtores para que sejam implementadas em maior escala dentro do setor, com foco na produtividade, qualidade e segurança alimentar da carne, ao mesmo tempo respeitando o meio ambiente.

Palavras-chave: Sustentabilidade ambiental, Emissões de gases de efeito estufa, Mudança climática, Recuperação de pastagens, Tecnologia poupa-terra, Integração lavoura-pecuária-floresta

ABSTRACT

Beef livestock intensification index: a multivariate and spatial analysis

Beef cattle, while playing a relevant socioeconomic role in Brazil and having gained international prominence due to the sector's favorable export performance in recent decades, has been increasingly challenged by increasing concerns about its environmental impacts. The main objective of this study is to analyze whether, in the evolution of beef cattle, between 2006 and 2017, there was an intensification of sustainable production and whether this has an effect on greenhouse gas emissions in a cutout for Brazilian microregions. To this end, a multivariate and spatial analysis was conducted, using data from the 2006 and 2017 Agricultural Censuses. The first part of the study is based on an exploratory analysis of Agricultural Census (IBGE) data related to cattle herd and land use, with the purpose of describing the evolution and spatial distribution among these observations. The second part of the analysis is based on the construction of an intensification index, through factor analysis by principal components, with the objective of visualizing spatial distributions and discovering patterns of spatial association (clusters) between the variables of interest. As a corollary, it was observed that beef cattle are increasingly intensive in sustainable technologies, here understood as sustainable a set of practices identified from data from the Agricultural Census, and these indicators for technologies show an inverse relationship with emissions of GHG from beef cattle. The challenge is that knowledge and technology can reach all producers in an accessible way so that they can be implemented on a larger scale within the sector, with a focus on meat productivity, quality and food safety, while respecting the environment.

Keywords: Environmental sustainability, Greenhouse gas emissions, Climate change, Pasture recovery, Land-saving technology, Crop-livestock-forest integration

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 3.1	– Variáveis Seleccionadas para Indicar Práticas de Sustentabilidade Ambiental nas Atividades da Pecuária Bovina – 2006/2017.....	39
Figura 4.1	– Evolução do Rebanho Bovino por Microrregiões – Brasil – 2006/2017.....	47
Figura 4.2	– Evolução das Áreas de Pastagens em Relação as Áreas Territoriais por Microrregiões – 2006/2017.....	51
Figura 4.3	– Evolução das Pastagens Naturais por Microrregiões – 2006/2017.....	53
Figura 4.4	– Evolução da Pastagens Plantadas por Microrregiões – 2006/2017.....	55
Figura 4.5	– Evolução das Pastagens Degradadas por Microrregiões – 2006/2017...	58
Figura 4.6	– Evolução do Sistema Agroflorestal por Microrregiões – 2006/2017....	60
Figura 4.7	– Evolução do Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC) por Microrregiões – 2006/2017.....	71
Figura 4.8	– Diagrama de Moran Univariado e Mapa de Clusters LISA para o Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC) por Microrregiões – 2006/2017.....	73
Figura 4.9	– Diagrama de Moran Bivariado e Mapa de Clusters BiLISA para o Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC) por Microrregiões – 2006/2017.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	– Rebanho Bovino, Número e Área dos Estabelecimentos – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017.....	45
Tabela 4.2	– Os Dez Maiores Rebanhos Bovinos por Microrregiões – Brasil – 2006.....	48
Tabela 4.3	– Os Dez Maiores Rebanhos Bovinos por Microrregiões – Brasil – 2017.....	48
Tabela 4.4	– Uso da Terra por Classe de Atividade (Propriedades com Criação de Bovinos) – Brasil – 2006/2017.....	49
Tabela 4.5	– Pastagens Totais por Classe de Atividade (Propriedades com Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017.....	50
Tabela 4.6	– Pastagens Naturais por Classe de Atividade (Propriedades com Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017.....	52
Tabela 4.7	– Pastagens Plantadas por Classe de Atividade (Propriedades com Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017.....	54
Tabela 4.8	– Pastagens em Boas Condições por Classe de Atividade (Propriedades com Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017.....	56
Tabela 4.9	– Pastagens Degradadas por Classe de Atividade (Propriedades com Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017.....	56
Tabela 4.10	– Sistemas Agroflorestais por Classe de Atividade (Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017.....	59
Tabela 4.11	– Cargas Fatoriais e Comunalidades das Variáveis de Práticas de Sustentabilidade Ambiental – 2006.....	62
Tabela 4.12	– Cargas Fatoriais e Comunalidades das Variáveis de Práticas de Sustentabilidade Ambiental – 2017.....	65
Tabela 4.13	– Ranking das 20 Principais Microrregiões para o IIPC – Grandes Regiões – 2006.....	67
Tabela 4.14	– Ranking das 20 Principais Microrregiões para o IIPC – Grandes Regiões – 2017.....	69

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda mundial por alimentos, o surgimento de novas fontes de energia e os cenários de mudanças climáticas trouxeram desafios para a agropecuária brasileira relacionados a sustentabilidade socioeconômica e ambiental. Em particular, a bovinocultura de corte no País, cujo sistema predominante ainda é a pecuária extensiva, é mencionada frequentemente como grande geradora de externalidades negativas. Os impactos ambientais estão relacionados principalmente ao uso da terra e às emissões de gases do efeito estufa (GEE). No entanto, a pecuária de corte possui grande potencial de mitigação e adaptação às mudanças climáticas por meio do manejo adequado de solos, da recuperação de pastagens degradadas e da adoção de sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta (ILPF).

De acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o Produto Interno Bruto (PIB) do ramo pecuário foi de, aproximadamente, R\$ 494,7 bilhões em 2019, com um aumento de 23,71% em relação ao ano anterior. Além disso, esse resultado representou 31,9% no PIB do agronegócio e 6,8% no PIB do país naquele ano.

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), o País apresenta um rebanho bovino de, aproximadamente, 215 milhões de cabeças de gado, um dos maiores do mundo. Segundo as estimativas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), para o ano de 2020, a produção brasileira de carne deveria alcançar um total de 10,5 milhões de toneladas e o consumo doméstico dessa proteína animal, por volta de 8 milhões de toneladas. Ainda de acordo com essa fonte, o país exportaria 2,5 milhões de toneladas e continuaria sendo o maior exportador mundial de carne bovina, apesar dos problemas atuais decorrentes da pandemia da covid-19.

Nesse contexto, o Brasil encontra-se como um dos maiores e mais importantes *players* do mercado de carne bovina do mundo, em razão dos investimentos em pesquisa e inovação ao longo de décadas. A criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em 1973, não apenas contribuiu para a modernização e organização da cadeia, como também possibilitou um aumento de produtividade, competitividade e qualidade da carne bovina brasileira nos mercados internacionais.

Além disso, verifica-se que a pecuária não apenas é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento de várias regiões do país, mas também indispensável na oferta de alimentos para uma população mundial crescente que atingirá 9,7 bilhões de pessoas em 2050, conforme estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU, 2019). Nesse sentido, a

demanda por alimentos de origem animal deverá aumentar em 50% até 2050, segundo projeções da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2018). Além disso, muitos países têm um consumo de proteína animal abaixo das recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) e as projeções indicam que o aumento da demanda deverá vir, principalmente, de países em desenvolvimento. Por outro lado, em países desenvolvidos, existe um nicho crescente de consumidores que deixam de consumir carne e produtos de origem animal.

Apesar dos aumentos na produtividade e nos ganhos de eficiência da produção, estão aumentando as emissões de GEE da pecuária no mundo (FAO, 2019). Segundo o relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2019) em que se analisa o uso do solo e os seus efeitos sobre os cenários de mudanças climáticas, as atividades relacionadas à agropecuária, silvicultura e outros usos da terra foram responsáveis por aproximadamente 23% do total de emissões antropogênicas líquidas de GEE em todo o mundo (2007-2016). Em geral, mudanças nas condições e uso do solo podem reduzir ou acentuar o aquecimento global e afetar a intensidade de eventos meteorológicos extremos em diversas regiões do planeta.

Nos últimos anos, ocorreram avanços no ambiente institucional em relação à sustentabilidade e, em especial, nas questões ambientais. Nesse contexto e procurando satisfazer um mercado consumidor cada vez mais exigente e preocupado com o meio ambiente, o governo federal em parcerias público-privadas apresentaram em 2010, o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, também conhecido como Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), que tem como objetivos principais responder aos acordos climáticos internacionais e desenvolver uma economia de baixo carbono no setor agropecuário.

Para Rojas-Downing *et al.* (2017), as mudanças climáticas são uma ameaça à produção pecuária em consequência dos impactos das adversidades climáticas, ou seja, a produção será limitada pela variabilidade climática e pelo aumento na demanda por terras agrícolas usadas para alimentação dos animais. Conforme o IPCC (2019), algumas ações de mitigação e adaptação em cenários de mudanças climáticas podem levar a reduções absolutas nas emissões de GEE por meio de práticas sustentáveis na gestão do solo. Dessa forma, o uso sustentável do solo nos diferentes ecossistemas é essencial para combater o aquecimento global e evitar uma crise de segurança alimentar.

Assim, a pecuária, ao mesmo tempo que tem um papel socioeconômico relevante no Brasil e assumiu destaque internacional pelo desempenho favorável do setor nas últimas

décadas, vem sendo desafiada, crescentemente, pelo aumento das preocupações com seus impactos ambientais. Nesse sentido é que compreender como diferentes estratégias de manejo da pecuária e do espaço em que é conduzida, que estão presentes no sistema produtivo nacional, é estratégico para os objetivos do setor agropecuário tanto quanto para atingir os objetivos e compromissos internacionais na área ambiental.

1.1 Hipótese

A hipótese básica desta pesquisa é a de que práticas de sustentabilidade ambiental permitem uma intensificação da pecuária bovina de corte capaz de mitigar os gases de efeito estufa emitidos pelos animais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste estudo consiste em analisar se, na evolução da pecuária de corte, entre os Censos Agropecuários de 2006 e 2017, houve uma intensificação da produção sustentável e se esta exerce efeito sobre as emissões de gases de efeito estufa do setor nas microrregiões brasileiras, por meio das análises multivariada e espacial.

1.2.2 Objetivos específicos

De forma mais específica, pretende-se:

- a) Realizar uma breve revisão de literatura sobre assuntos relacionados à adoção de tecnologias e práticas de produção, denominada de intensificação sustentável, na pecuária bovina de corte, destacando o manejo na recuperação de áreas com pastagens degradadas e o uso de sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta;
- b) Descrever a evolução e a distribuição espacial do rebanho bovino, do uso da terra e das emissões *per capita* animal da pecuária de corte, analisadas por microrregiões brasileiras, mediante a construção de mapas, com base nos dados dos Censos Agropecuários do IBGE e do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima, entre os períodos de 2006 e 2017;
- c) Construir um indicador para cada microrregião brasileira, visando representar a adoção de tecnologias e práticas de produção na pecuária bovina de corte, por meio da análise fatorial por componentes principais, com dados censitários de 2006 e

2017, possibilitando a sua hierarquização entre as microrregiões. Este indicador será denominado de Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC); e

- d) Identificar padrões de associação espacial entre o IIPC e as emissões *per capita* animal da pecuária de corte, considerando, inclusive, a evolução ao longo do período de 2006 e 2017, por meio da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE).

1.3 Organização do trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos, além desta introdução. Em seguida, apresenta-se a revisão de literatura. No terceiro capítulo, encontram-se os aspectos metodológicos da abordagem utilizada para avaliar os efeitos da intensificação da produção sustentável sobre as emissões *per capita* dos animais da pecuária bovina de corte. No quarto capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Por fim, o quinto capítulo contém as principais conclusões da pesquisa.

2 A BOVINOCULTURA DE CORTE BRASILEIRA

A pecuária de corte brasileira passou por grandes mudanças nas últimas décadas. De acordo com Amaral *et al.* (2012), a bovinocultura era descrita por baixos índices de produtividade, abates clandestinos e ampla distribuição das carnes por açougues. Após a estabilização da economia e com um mercado consumidor mais exigente, toda a cadeia produtiva começou a seguir novos caminhos. Assim, a atividade da pecuária se modernizou para entregar animais cada vez mais jovens e padronizados para comercialização em estabelecimentos legalizados¹.

Para Vieira Filho (2016), as inovações induzidas institucionalmente das quatro últimas décadas foram fundamentais para tornar o Brasil um grande exportador líquido de alimentos, por meio da incorporação do bioma Cerrado na produção. Assim sendo, a expansão para áreas de fronteira agrícola e limites da região amazônica, trouxe grandes preocupações a respeito da sustentabilidade ambiental.

A ocupação do espaço geográfico e do território é motivo de constante preocupação para o agronegócio e a sociedade. Por outro lado, um aumento da demanda por carne bovina pelos mercados doméstico e internacional serve como estímulo para ganhos de produtividade e incremento na produção. Essa dinâmica no desenvolvimento da bovinocultura de corte é acompanhada por todos os agentes envolvidos na cadeia produtiva, mas também mediante políticas públicas de apoio e implementação sobre modelos de produção mais sustentáveis (MCMANUS *et al.*, 2016).

2.1 Produção, ocupação da terra e produtividade

De 2006 a 2019, o rebanho bovino nacional cresceu 4,26% e assegurou a marca de 214,7 milhões de cabeças de gado, de acordo com as estimativas da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), do IBGE. Desse total, cerca de 92% são voltados para a produção de carne. O abate de bovinos sob fiscalização federal, estadual ou municipal, aumentou 6,82% entre 2006 e 2019, atingindo 32,4 milhões de cabeças. Já a produção de carne cresceu 19,3%, com 8,2 milhões de toneladas em relação ao mesmo período analisado, segundo a Pesquisa Trimestral do Abate de Animais, do IBGE.

Além de possuir o maior rebanho comercial do mundo, a bovinocultura de corte brasileira está presente em todo o território nacional e apresenta uma grande variedade de raças e sistemas de produção em todos os biomas brasileiros. Ainda segundo a Pesquisa da Pecuária

¹ Por mais que o setor tenha passado por grandes mudanças nas últimas décadas, ainda se verifica baixa produtividade, informalidade e abates não fiscalizados em diversas regiões do país (MIRANDA, *et al.*, 2019).

Municipal, quanto à distribuição geográfica do rebanho, a região Centro-Oeste participa com 34,5% de todo o efetivo bovino do país, seguida das regiões Norte (23,1%), Sudeste (17,3%), Nordeste (13,3%) e região Sul (11,8%). No entanto, as regiões Sul e Sudeste apresentaram uma redução de seus rebanhos bovinos, com quedas, respectivamente, de 6,6% e 5,5% entre 2006 a 2019.

Estimulada pela demanda interna e externa por carne bovina e impulsionada pela oferta de novas tecnologias e uso intensivo de conhecimento, a bovinocultura de corte vem se consolidando na região Centro-Oeste e expandindo a sua produção para as regiões da Amazônia Legal e do Matopiba, esta última englobando parte dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e da Bahia. Desse modo, verifica-se uma maior competição por terra na fronteira do Cerrado com o bioma Amazônia, despertando grandes preocupações sobre o desmatamento e aumento das emissões de GEE (VIEIRA FILHO, 2016, 2018).

De acordo com as duas últimas operações censitárias (IBGE, 2006; 2017), houve uma redução de 0,88% na área total de pastagem, que passou de 160 milhões de hectares, em 2006, para 158,6 milhões de hectares, em 2017. Desse total, 46,8 milhões de hectares são áreas de pastagens naturais e 111,7 milhões de hectares de pastagens plantadas, sendo que estas incluem áreas em boas condições (99,9 milhões de hectares) e degradadas (11,8 milhões de hectares). Essa diminuição de área nos últimos anos, segue uma tendência que já vem sendo observada desde os últimos Censos Agropecuários, o que indica uma maior intensificação da produção da pecuária.

Já a produtividade da bovinocultura de corte, pode ser medida em quilogramas de carcaça quente por animal abatido (kg/animal) e também pela taxa de lotação das pastagens. Segundo Melo Filho e Queiroz (2011), para estimar a carga animal ou a lotação de uma pastagem, utiliza-se a Unidade Animal (UA) que representa um animal com 450 kg de peso vivo. De acordo com Valentim e Andrade (2009) e Dias-Filho (2016), a taxa de lotação (UA/ha) deve ser interpretada com cautela, uma vez que ela generaliza as áreas de pastagens com diferentes produtividades, dentre outros parâmetros. Além disso, a taxa de lotação está associada à fertilidade do solo e ao melhoramento genético de novas cultivares de forrageiras (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Diante do exposto, observa-se que o crescimento do rebanho bovino ocorreu ao mesmo tempo em que houve uma diminuição na área de pastagens. A taxa de lotação, média para o Brasil, em 2006, era de 1,29 animal por hectare e foi de 1,36 animal por hectare em 2017. Já a produtividade medida em quilogramas de carne por animal, em 2019, foi de 253,31 kg/animal, registrando um crescimento de 11,7% em relação a 2006. A análise desses dados, segundo a

literatura, indica uma pecuária bovina de corte baseada no sistema extensivo e com grande potencial de intensificação dado a baixa taxa de lotação verificada nos períodos analisados (ASSAD, 2006; MARTHA JUNIOR; ALVES; CONTINI, 2012; TELLES; RIGHETTO, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2020; CHIARI *et al.*; 2021).

2.2 Caracterização das fases e dos sistemas de produção

A bovinocultura de corte está presente em todos os estados e ecossistemas brasileiros. Apresenta alta variabilidade no efetivo de bovinos, como também grandes diferenças nas taxas de crescimento do rebanho e nos sistemas de produção praticados entre as regiões. As atividades econômicas da pecuária de corte são divididas em fases de cria, recria e engorda ou terminação. Além disso, essas atividades se desenvolvem de forma isolada ou combinada e estão associadas segundo os regimes alimentares e o grau de intensificação dos sistemas. Estes, geralmente, são classificados em sistemas extensivos, semi-intensivos e intensivos (CEZAR *et al.*, 2005; MALAFAIA *et al.*, 2019, 2021).

Ainda segundo os autores, a fase de cria é caracterizada pelo rebanho composto por fêmeas em período reprodutivo (matrizes). Pode-se incluir também a recria de fêmeas para reposição, crescimento do rebanho e para a venda. Os machos são comercializados logo após a desmama por volta de 7 a 9 meses de idade. Já as bezerras desmamadas e as novilhas entre 1 a 2 anos de idade são vendidas para reprodução. Finalmente, as novilhas de 2 a 3 anos, vacas e touros também são colocados à venda e se destinam ao abate.

O sistema de cria, recria e engorda caracteriza-se pela atividade de ciclo completo. Possui semelhanças com as atividades anteriores, contudo, os machos são comercializados com idade de 15 a 42 meses (boi gordo) para abate. Na sequência, o ciclo da atividade de recria e engorda começa com o bezerro desmamado e finaliza com o boi gordo. Apesar dessa fase ser típica de machos, a engorda de fêmeas também ocorre. Por último, a fase de engorda ou terminação tem o propósito de fazer com que o animal atinja peso até o abate (CEZAR *et al.*, 2005; MALAFAIA *et al.*, 2019, 2021).

Em relação ao nível tecnológico dos sistemas de produção de gado de corte, segundo Cezar *et al.* (2005) e Malafaia *et al.* (2019, 2021), o sistema extensivo é caracterizado pela utilização de pastagens nativas e plantadas como fontes únicas de alimentos para os animais, ou seja, dieta alimentar exclusiva de pastos. Já o sistema semi-intensivo é conhecido por também adotar o regime alimentar de pastagem, mas acrescidos de suplementação em pasto. Além do mais, esse sistema tem como objetivo alcançar um ciclo mais curto nas diversas fases

de crescimento dos animais. Por fim, o sistema intensivo é semelhante ao anterior, mas se diferencia por adotar a prática de confinamento na terminação.

Para Euclides Filho (2000) e Cezar *et al.* (2005), os sistemas de produção de gado de corte no Brasil destacam-se pela dependência, quase que exclusiva, da utilização de pastagens independente do grau de intensidade tecnológica. Nesse sentido, Telles e Righetto (2019) verificaram que a bovinocultura de corte no país ainda é baseada na prática extensiva, embora tenha se verificado uma maior intensificação da atividade pecuária e um aumento expressivo da produtividade entre 1970 e 2017.

Amaral *et al.* (2012) também consideram que a bovinocultura de corte, nos últimos anos, está cada vez mais intensiva em tecnologia e apoiada em investimentos de formação e recuperação de pastagens, bem como na qualidade do rebanho em razão de pesquisas em melhoramento genético.

Em um território extenso como o brasileiro, em que a pecuária se encontra em todas as regiões, cabe ressaltar a recomendação de Euclides Filho (2000) de que se deve considerar os aspectos sociais, econômicos e culturais ao se definir um sistema de produção para que o processo seja eficaz e as transformações atinjam os benefícios desejados (EUCLIDES FILHO, 2000).

2.3 Impactos ambientais

No começo da década de 1960, o Brasil era um importador de carne bovina e passou a ser um dos maiores produtores e exportadores mundiais da proteína animal a partir da segunda metade dos anos 90. A disponibilidade de terras tem sido um ponto forte em relação aos seus concorrentes, pois permitiu ganhos de escala e expansão da atividade pecuária no país. O melhoramento genético das pastagens também contribuiu para o aumento nos índices de produtividade e na expansão da fronteira agrícola em direção às regiões do Centro-Oeste, Norte e a do Matopiba (VIEIRA FILHO; FISHLOW, 2017).

Para Silva, Ruviaro e Ferreira Filho (2017), essa expansão foi estabelecida pela incorporação de terras ao longo de décadas. Enquanto isso, a atividade agropecuária do país enfrenta o desafio de permanecer crescendo no mesmo ritmo em uma conjuntura com baixa oferta de terras. Por outro lado, a expansão da produção da pecuária de corte em áreas desmatadas, segundo os autores, tem levado os consumidores internacionais a acreditarem que toda a produção de carne brasileira é fruto do uso de terras nativas, o que, acaba gerando grandes preocupações para todo o setor.

Os autores destacam ainda a importância das discussões sobre o sistema de produção da carne bovina e o meio ambiente, sobretudo dos assuntos relacionados ao aquecimento global. Nesse contexto, os principais impactos ao ecossistema associados com a atividade da bovinocultura de corte incluem desde a diminuição da biodiversidade e degradação do solo até a emissão de GEE e poluição dos recursos hídricos. Além disso, a baixa taxa de lotação animal, isto é, a subutilização dos recursos naturais é considerada por alguns autores como a principal responsável pelas externalidades negativas da pecuária de corte (AMARAL *et al.*, 2012; DE ZEN *et al.*, 2008).

2.3.1 Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na produção animal

Dentre as principais fontes de emissão de GEE provenientes da pecuária, destaca-se a geração de gás metano (CH_4) pela fermentação entérica e o manejo de dejetos dos animais. Segundo Melo Filho e Queiroz (2011), todos os animais produzem e emitem o gás metano, porém os ruminantes, tais como os bovinos, o fazem em grandes quantidades pelas bactérias localizadas no rúmen durante o processo de digestão dos alimentos, também conhecido como fermentação entérica.

Para Lima *et al.* (2010), a produção do metano entérico depende de vários fatores como, por exemplo, a existência de diferentes sistemas de produção. Em geral, quanto maior for a ingestão de alimento pelo animal, maior será a emissão de metano. Por outro lado, quanto melhor for a qualidade da dieta, menor a produção de metano pelo animal². Além disso, outros fatores como a idade e tamanho do animal, condições ambientais, entre outros, influenciam diretamente na produção do gás.

Já as emissões de metano provenientes do manejo de dejetos animais, segundo Lima *et al.* (2010), ocorrem quando o resíduo orgânico é decomposto sob condições anaeróbicas por bactérias metanogênicas. Vale destacar, também, que essas condições são favorecidas quando os dejetos são manipulados e estocados na forma líquida, o que é mais comum em sistemas de confinamento. Além disso, quando o esterco é excretado pelos animais, ele sofre uma série de reações químicas mediadas por microrganismos, como a nitrificação e a desnitrificação, o que acaba produzindo o óxido nitroso (N_2O) durante o seu manejo (LI *et al.*, 2012).

De acordo com os dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima, entre 2006 e 2018, as emissões de GEE da bovinocultura de corte passaram de 322,6 milhões de toneladas de gás carbônico equivalente

² Para uma discussão sobre a qualidade da alimentação animal e sua relação com a intensidade de emissões, ver Margulis e Miranda (2018).

(MtCO_{2e}) para 339,6 MtCO_{2e}, um aumento de 5,27%. Do total das emissões da bovinocultura de corte, a fermentação entérica representou 93% em 2018, seguida pelo manejo de dejetos animais (6%) e de outras fontes (1%).

Para fins de comparação e com base nos dados do IBGE, a produção de carne pela bovinocultura de corte no mesmo período passou de 6,8 milhões para 7,9 milhões de toneladas, ou seja, um aumento de 16%. Ao mesmo tempo, as emissões de CO_{2e} aumentaram 5,27%. De acordo com a literatura isso significa que apesar da atividade ser grande emissora de GEE, a pecuária possui grande potencial para mitigar os efeitos das mudanças climáticas (VIEIRA FILHO, 2018; MARGULIS; MIRANDA, 2018).

2.3.2 Emissões por uso do solo

O rebanho bovino do país é estimado por volta de 214,7 milhões de cabeças de gado ocupando pouco mais de 160 milhões de hectares de pastagens, como já referenciado nas seções anteriores, acrescido da característica, ainda prevalente de uma pecuária majoritariamente extensiva, caracterizada pelo baixo investimento em formação e manutenção de pastagens, evidenciam a magnitude dos desafios desse setor no que tange a torna-lo mais sustentável. De fato, é nesse contexto e pelo tamanho do seu rebanho que a bovinocultura de corte brasileira tem sido apontada como uma das atividades econômicas que mais impactam o meio ambiente (DE ZEN *et al.*, 2008).

O processo de degradação das pastagens começa com a perda de vigor e da produtividade, diminuindo aos poucos a capacidade de suporte e de prover ganhos de peso animal. Já em fases mais avançadas dos pastos degradados, pode ocorrer a infestação de plantas invasoras e pragas, bem como a degradação do solo, em razão de manejos inadequados. Nesse estágio, nota-se a perda de cobertura vegetal e a redução no teor de matéria orgânica do solo, o que acaba provocando um aumento nas emissões de CO₂ na atmosfera. Por fim, a área de pastagem perde a sua capacidade natural de recuperação para atender os níveis de produção e a qualidade nutricional exigidos pelos animais (BRASIL, 2012).

A degradação das áreas de pastagens está presente em todas as regiões do país e significa a perda da capacidade produtiva da pastagem ao longo do tempo. Todo esse processo tende a ser maior nas regiões em que a pecuária vem apresentando altas taxas de expansão, ou seja, de fronteira agrícola. As razões podem ser explicadas pela oferta de terras mais baratas e abundantes e, também, problemas de infraestrutura que dificultam o uso de tecnologias na manutenção e recuperação de pastagens degradadas (DIAS-FILHO, 2011, 2014).

De acordo com as estimativas dos Censos Agropecuários do IBGE, as pastagens degradadas no país, em 2017, ocupavam 11,8 milhões de hectares, o equivalente a 7% da área total de pastagens, e registrando um aumento de 20,4% em relação ao Censo Agropecuário de 2006. No entanto, pesquisadores que utilizam a taxa de lotação (UA/ha) média como um indicador para avaliar a condição de degradação da pastagem apontam estimativas de que entre 50% e 70% da área total de pastagens no Brasil apresentariam algum estágio de degradação (DIAS-FILHO, 2011, 2014).

Para Zimmer *et al.* (2012), grande parte da área de pastagem no país, cujo sistema de produção predominante é a pasto, apresenta um enorme risco para a pecuária devido ao processo de degradação. Considerando apenas a fase de engorda de bovinos, a produtividade de carne de uma pastagem degradada está por volta de 2 arrobas por hectare ao ano (arroba/ha/ano). Por outro lado, uma pastagem recuperada e bem manejada apresenta, em média, potencial de produtividade em carne de 12 arrobas/ha/ano. Além das consequências da degradação para a produção, dada a grande extensão da área ocupada pela atividade, ocorre também o agravamento das emissões de GEE.

Ainda que as práticas inadequadas de manejo do pastejo e excesso de lotação sejam algumas das principais causas de degradação, fatores como a ausência de medidas de correção do solo e adubação, falta de reposição de nutrientes, uso de forrageiras inadequadas, preparo de solo e técnicas de semeadura impróprias, falta de medidas conservacionistas do solo, uso de sementes de qualidade inferior e de origem desconhecidas são também relevantes e contribuem com a degradação do solo (ZIMMER *et al.*, 2012).

Apesar das graves consequências, segundo Dias-Filho (2014), a pecuária também pode ser parte da solução para a sustentabilidade ambiental. A grande incidência de áreas de pastagens degradadas mostra um imenso potencial em termos de produtividade pela simples recuperação dessas áreas improdutivas. Na mesma linha, Zimmer *et al.* (2012) mostram que o manejo adequado e adubações de manutenção aumentam a produtividade animal, bem como a quantidade de matéria orgânica do solo e o sequestro de carbono, o que, por sua vez, ajuda a mitigar as emissões de GEE.

Dada a importância das fontes de emissão e remoção (NCI)³ em solos agrícolas, em 2017, segundo dados do Observatório do Clima (2022), foram contabilizados 70,2 milhões de

³ Emissões ou remoções (NCI), refere-se as emissões e remoções de carbono pelo solo por práticas agrícolas e que não são contempladas no Inventário Nacional, tais como: florestas plantadas, sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta, lavouras cultivadas sob sistema plantio direto, pastagem bem manejada, lavouras cultivadas sob sistema convencional e pastagem degradada (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2022).

toneladas de CO₂e de emissões (NCI), pelo setor de agropecuária. Esse total representa um aumento de 2,1% em relação às mesmas emissões do setor levantadas para o ano de 2006. Já as remoções (NCI), foram de 188,5 MtCO₂e, com um aumento de 37,5% em relação ao mesmo período analisado. Portanto, o balanço de carbono no solo resultou em uma remoção líquida estimada de 118,3 milhões de toneladas de CO₂e para 2017. Segundo Observatório do Clima (2021), essa remoção líquida mostra a importância de se buscar a expansão de boas práticas agropecuárias e adoção de tecnologias de mitigação e adaptação, como já apontado na literatura especializada (MARGULIS; MIRANDA, 2018).

2.3.3 Emissões por mudança de uso do solo

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) ocorrem quando a expansão da produção pecuária altera a cobertura florestal para um uso de solo de menor estoque de carbono por hectare. Em outras palavras, é a conversão de floresta para pastagem que eleva as emissões de CO₂, em razão da perda de estoques de carbono pela remoção da floresta, tal como ocorre devido ao desmatamento. Por outro lado, pode haver sequestro de CO₂ da atmosfera quando uma pastagem é convertida em floresta secundária, ou seja, uma mudança de uso do solo com maior estoque de carbono por hectare (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2020).

A literatura recente tem documentado a importância do uso eficiente dos recursos naturais para conciliar produção pecuária com a preservação ambiental. Para Vieira Filho (2018), deve-se avaliar com atenção o impacto ambiental da pecuária, pois uma parcela das críticas procura relacionar expansão da produção ao desmatamento. Embora o setor seja responsável por grande parte das emissões de GEE, o impacto ambiental está muito mais associado ao manejo inadequado das áreas de pastagens.

No que diz respeito à expansão da pecuária de corte na região Amazônica, Dias-Filho (2015) mostra que, no período entre 1960 e 1970, prevaleceu a fase extrativista de exploração, provocando um aumento nas taxas de desmatamento e nas áreas de pastagens degradadas. Essa fase ajudou a estigmatizar a pecuária na Amazônia como uma atividade improdutiva e prejudicial ao meio ambiente. Porém, nas últimas décadas, a expansão da produção pecuária aconteceu sobretudo pelo uso intensivo de conhecimento e tecnologia (VIEIRA FILHO, 2018).

De acordo com Dias-Filho (2014), a atividade pecuária apresenta características peculiares em comparação com outras atividades agrícolas na ocupação de terras. A dinâmica de desenvolvimento da pecuária, em áreas de fronteira agrícola, geralmente acontece em duas fases distintas. A primeira delas é conhecida como fase primária ou de crescimento horizontal. Já a segunda é conhecida como fase secundária ou de crescimento vertical.

A fase primária é marcada por um fluxo migratório intenso de produtores e também pela acelerada taxa de expansão da produção animal em uma determinada região. O sistema dominante é o extensivo e a produção se desenvolve em regiões desprovidas de infraestrutura adequada. Nessa fase, verifica-se não só o abandono das pastagens degradadas ou improdutivas, mas também o avanço da área de pastagem sobre a vegetação natural. O baixo grau de intensificação desse sistema resulta em baixa produtividade, principalmente no manejo das pastagens. Além disso, a fase de crescimento horizontal está associada a uma postura mais especulativa da atividade pecuária pelo produtor, bem como a pretensão de lucro com a venda de terra e madeira (DIAS-FILHO, 2014, 2016).

Ainda de acordo com o autor, a fase secundária é caracterizada pelo abandono ou intensificação da atividade pecuária ao mesmo tempo em que ocorre uma diminuição na oferta de terras e uma elevação nos seus preços. A oferta de terras está intimamente ligada às pressões ambientais ou de mercado. Já a elevação dos preços deriva da própria competição com outras atividades produtivas. Nesse contexto, os produtores com uma visão mais especulativa ou aqueles que preferem migrar para outros setores, acabam abandonando a atividade pecuária. Por outro lado, produtores que possuem uma postura mais profissional e buscam lucrar com a comercialização da produção, optam pela intensificação da atividade pecuária com o objetivo de aumentar sua produtividade, tornando-se mais eficiente e sustentável.

A partir dos dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020) sobre a taxa consolidada de desmatamento para os nove estados⁴ da Amazônia Legal Brasileira (ALB), verifica-se que o desmatamento vem caindo no país. Em 2018, a taxa consolidada de desmatamento atingiu 7.536 km² contra 14.286 km² em 2006, o que representou uma redução de 47,25%. Para Dias-Filho (2016), sistemas de produção mais intensivos produzem mais em menor área. Ademais, essas práticas teriam como base o reaproveitamento de áreas já desmatadas, que estavam abandonadas ou subutilizadas, tornando a pecuária de corte mais produtiva e sustentável.

Nesse sentido, Lapola *et al.* (2014), declaram que entre 60% e 80% das terras desmatadas da região Amazônica são ocupadas por pastagens direcionadas à produção de carne bovina. Além disso, os autores explicam que o Bioma do Cerrado não só possui a maior extensão de pastagens como também é a região mais importante na produção de carnes no país. Ainda segundo os autores, uma pecuária mais intensiva pode levar a uma diminuição e até mesmo evitar abertura de novas áreas de pastagens.

⁴ Acre, Amazonas, Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Roraima, Rondônia e Tocantins. Além disso, é uma área que engloba os biomas da Amazônia, Cerrado e parte do Pantanal.

2.4 Algumas práticas de sustentabilidade ambiental na pecuária bovina

Neste item, destacam-se algumas das práticas que já são usadas e podem ser adotadas por mais pecuaristas da bovinocultura de corte e que caracterizam uma atividade ambientalmente mais sustentável, quais sejam: melhoramento genético de animais, inseminação artificial, manejo e recuperação de pastagens, suplementação alimentar a pasto e confinamento, controle de doenças e parasitoses, sistemas integrados de produção, produção de novilho precoce, entre outras. (LATAWIEC *et al.*, 2014; BARBOSA *et al.*, 2015; OLIVEIRA SILVA *et al.*; 2017; BUNGENSTAB *et al.* (2019); RESENDE *et al.* 2019; OLIVEIRA *et al.* 2020; RUGGIERI *et al.* 2020; CHIARI *et al.*; 2021; CONGIO *et al.*, 2021; PEZZOPANE *et al.* 2021; ROQUE *et al.*, 2021).

Tendo em vista as limitações dos dados disponíveis para verificação da adoção destas práticas sustentáveis na pecuária de corte, foram selecionadas para discussão nesta seção a formação, recuperação e renovação das pastagens degradadas e adoção de sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta (ILPF).

O aumento da população mundial pressupõe um consumo maior de alimentos. Ao mesmo tempo, expandir a produção preservando o meio ambiente e garantindo a segurança alimentar são de fundamental importância. No entanto, adversidades climáticas podem comprometer o progresso do desenvolvimento sustentável. Nesse contexto/, diversos estudos demonstraram que é possível aumentar a eficiência da produção e mitigar os gases de efeito estufa por meio da conservação de recursos naturais e melhorias na gestão da terra (STRASSBURG *et al.*, 2014).

Apesar de grande emissora de GEE, a bovinocultura apresenta ter potencial no sequestro de carbono por meio de pastagens bem manejadas. Assim, a atividade possui uma grande oportunidade de redução dos impactos causados ao meio ambiente com medidas que, concomitantemente, também podem melhorar a sua produtividade.

Adicionalmente, Bustamante *et al.* (2012) argumentam que a pecuária brasileira possui um enorme potencial de mitigação nas emissões de GEE, resultando em benefícios econômicos, sociais e ambientais. Na mesma linha de pensamento, Rojas-Downing *et al.* (2017) mostram que o setor pecuário será um participante fundamental na mitigação das emissões de GEE e na melhoria da segurança alimentar global. Para Silva, Ruviano e Ferreira Filho (2017), o aumento nas emissões de GEE e, conseqüentemente o aquecimento global, tem levado à busca de estratégias que procuram reduzir as fontes desses gases.

Atualmente, a pecuária bovina de corte enfrenta desafios cada vez maiores para produzir de forma sustentável. Considerando as projeções crescentes da população mundial e o

aumento da demanda por alimentos, o país possui um imenso potencial para aumentar a produtividade e mitigar as emissões de GEE, apenas recuperando as áreas de pastagens degradadas. Nesse sentido, Strassburg *et al.* (2014) apresentam evidências de que o Brasil possui terras suficientes para a produção de alimentos e, assim, pode contribuir para atender ao aumento sem precedentes da demanda futura por produtos.

O país é um dos maiores produtores de carne bovina do mundo e possui um dos maiores rebanhos de gado, tendo praticamente toda a sua produção baseada em pastagens naturais e plantadas. Em geral, as pastagens desempenham papel indispensável para a bovinocultura brasileira, visto que apresenta baixos custos de produção e, também, se constitui na maneira mais econômica e prática de produzir e oferecer alimentos para os animais.

Para Zimmer *et al.* (2012), a recuperação de uma pastagem consiste no restabelecimento da produção de forragem, preservando a mesma espécie ou cultivar. Já, o processo de renovação de uma pastagem é semelhante ao anterior, porém se diferencia exclusivamente pela introdução de uma nova espécie ou cultivar. Ademais, a recuperação ou renovação podem ser realizadas de duas formas: direta ou indireta. A primeira ocorre quando se faz o uso de práticas mecânicas, químicas e agrônômicas. Por outro lado, a forma indireta acontece pelo uso intermediário de lavouras ou de pastagens anuais.

Ainda de acordo com os autores, o processo de recuperação de pastagens é economicamente viável, contanto que exista um diagnóstico preciso e as técnicas sejam aplicadas de maneira correta. Ressalta-se que tais práticas são necessárias, uma vez que, no Brasil, há uma extensa área de pastagem com níveis muito baixos de produtividade, bem como algumas áreas em que a degradação pode já ser irreversível. Além disso, suplementação animal e manejo do rebanho podem provocar ganhos de produtividade e eficiência econômica dos sistemas de produção. Nesse sentido, segundo Lahsen, Marcovitch e Haddad (2017), para mitigar o volume de GEE na pecuária, o setor precisa melhorar a gestão de pastagens por meio de dietas e aditivos nutricionais, além do desenvolvimento das práticas de manejo dos animais.

Vieira Filho (2018) mostra que o potencial das áreas de pastagens em armazenar carbono está diretamente relacionado com a intensidade de uso e manejo do solo. O autor argumenta que quanto maior a taxa de lotação sem o investimento necessário na recuperação de pastagens degradadas, a perda de carbono do solo para o ambiente será maior. Nesse contexto, é de grande importância a recuperação de pastagens degradadas associada ao manejo adequado e adubações de manutenção. Desse modo, observam-se aumentos na produtividade, na matéria orgânica do solo e no sequestro de carbono, contribuindo assim para mitigar as emissões de GEE (ZIMMER *et al.*, 2012).

A adoção de sistemas integrados representa uma forma de intensificação sustentável da produção agropecuária. A implementação desta estratégia pode contribuir para a diminuição das emissões de GEE, assim como aumentar, significativamente, o sequestro de carbono e auxiliar na mitigação desse relevante problema (LATAWIEC *et al.*, 2014; CORDEIRO *et al.*, 2015).

Balbino, Barcellos e Stone (2011) descrevem os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) como a integração espacial e temporal dos componentes produtivos, aliando aumento de produtividade à conservação dos recursos naturais. O sistema de produção intensificado deve ser pautado no uso eficiente e racional de recursos produtivos, com o objetivo de otimizar a relação custo/benefício. Ainda segundo os autores, a sustentabilidade do sistema só será verificada quando for tecnicamente eficiente, ambientalmente adequada, economicamente viável e socialmente aceita.

O sistema ILPF envolve sistemas produtivos diversificados entre atividades agrícolas, pecuárias e florestais dentro de uma mesma área. Podem ser realizados em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, visando os ciclos biológicos das plantas e dos animais, como também dos insumos e dos seus respectivos resíduos. Além disso, os sistemas integrados apresentam benefícios e vantagens a partir de perspectivas diferentes sobre os componentes tecnológicos, ecológicos e econômicos sociais (BALBINO; BARCELLOS; STONE, 2011).

Em relação aos sistemas de cultivo, o consórcio é aquele em que duas ou mais espécies vegetais são cultivadas conjuntamente na mesma área. Já o sistema de sucessão acontece quando espécies vegetais distintas são cultivadas, uma após a colheita da outra, durante o ano agrícola. Por último, o sistema de cultivo rotacionado é aquele em que ocorre a alternância de espécies vegetais, ocupando uma mesma área dentro do mesmo ano agrícola (CORDEIRO *et al.*, 2015).

Os sistemas de integração podem ser classificados em quatro modalidades distintas, segundo Balbino, Barcellos e Stone (2011): integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), integração pecuária-floresta (IPF) e integração lavoura-floresta (ILF). Os autores destacam ainda que os sistemas apresentados se assemelham com a classificação dos sistemas agroflorestais (SAFs), com exceção do ILPF. Este, enquanto estratégia de produção sustentável, apresenta uma classificação mais abrangente.

De acordo com essa classificação, o sistema ILP é também denominado de sistema agropastoril. Este integra os componentes agrícola e pecuário, em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e no mesmo ano ou em vários anos agrícolas. Já o sistema ILPF ou agrossilvipastoril, é semelhante ao anterior, mas se diferencia por utilizar em consórcio o

componente florestal. O sistema IPF ou silvipastoril integra os componentes pecuário e florestal em sistema de consórcio. Por fim, o sistema ILF ou silviagrícola, é aquele que integra os componentes florestal e agrícola. Além disso, utiliza-se o sistema de cultivo em consórcio para espécies arbóreas com cultivos agrícolas anuais ou perenes (CORDEIRO *et al.*, 2015).

2.5 Evidências empíricas sobre sustentabilidade ambiental

Diversos trabalhos na literatura abordaram a importância da sustentabilidade ambiental na pecuária brasileira. Assim sendo, foram selecionados alguns estudos que procuraram demonstrar evidências sobre práticas sustentáveis no uso do solo, mudança de uso do solo e florestas que vêm sendo aplicadas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, bem como o sequestro de carbono da atmosfera.

Nesse contexto, Bowman *et al.* (2012) utilizaram um modelo espacial para calcular o Valor Presente Líquido (VPL) de 30 anos de pecuária extensiva na Amazônia brasileira. Os autores estimaram que entre 17% e 80% das terras empregadas na pecuária extensiva da região apresentariam VPLs moderados a altos quando estiverem relacionadas à posse ilegal das terras. Ademais, entre 9% e 13% das terras na Amazônia são vulneráveis à especulação, o que, segundo o estudo, sugere que a especulação fundiária é bastante rentável para a pecuária extensiva.

Os autores também avaliaram que mesmo que a intensificação da pecuária seja economicamente viável em algumas regiões da Amazônia, investimentos nos sistemas de produção e melhoria da produtividade do rebanho devem ser acompanhados por políticas que promovam a sustentabilidade ambiental. Desse modo, o objetivo é desencorajar a pecuária de baixo rendimento e impedir novos desmatamentos em regiões de fronteira da Amazônia brasileira (BOWMAN *et al.*, 2012).

Ao se discutir uma estratégia nacional de desenvolvimento para impedir o desmatamento na Amazônia e melhorar a produção do setor pecuário, como propõe a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil ao Acordo de Paris, pode-se destacar que a intensificação agrícola é a melhor estratégia para garantir um desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, Oliveira Silva *et al.* (2018) avaliaram a restauração de pastagens degradadas por um modelo bioeconômico otimizado para os principais biomas da pecuária de corte brasileira (Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica), indicando, assim, a importância de políticas públicas no controle do desmatamento e na preservação da terra.

No que se refere à degradação de pastagens, Oliveira Silva *et al.* (2017) apresentaram evidências importantes sobre como as pastagens bem manejadas podem melhorar os resultados

econômicos e ambientais da pecuária de corte brasileira. Além disso, políticas públicas de crédito subsidiado, como a Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC), podem aumentar a lucratividade e reduzir as emissões de GEE. No entanto, tais políticas podem ser insuficientes sob condições de pastos altamente degradados.

Segundo Oliveira Silva *et al.* (2016), um aumento na produção de carne bovina no Brasil poderá reduzir as emissões de GEE. Este estudo foi realizado para a região do Cerrado brasileiro, utilizando um modelo de otimização que descreve cenários da produção da carne sob o desmatamento. Para os autores, um aumento da demanda da proteína animal associada com políticas efetivas no controle do desmatamento serve de estímulo para os produtores se tornarem mais eficientes e investirem na intensificação das áreas de pastagens degradadas. Assim, a recuperação dessas pastagens aumenta consideravelmente os estoques de carbono orgânico do solo que, por sua vez, ajuda a compensar ou até mesmo neutralizar as emissões dos animais.

De forma contrária, uma redução no consumo de carne poderá aumentar as emissões de GEE, pois os produtores tendem a investir menos na recuperação de pastagens, tornando-se menos produtivos e ineficientes. No entanto, se o desmatamento acompanhar o aumento da demanda, a emissão de GEE crescerá muito com o consumo de carne bovina. Desse modo, a restauração de pastagens degradadas e o controle do desmatamento são de grande importância para evitar a abertura de novas áreas e reduzir as emissões de GEE (OLIVEIRA SILVA *et al.*, 2016).

Resende *et al.* (2019) demonstraram que é possível neutralizar as emissões de CH₄ a partir da fermentação entérica de bovinos de corte pelo sistema silvipastoril. Esta pesquisa foi realizada no Brasil com um rebanho de 150 vacas em uma área de 100 ha, formada por forrageiras e árvores de eucalipto. Além de mitigar as emissões de CH₄ e o sequestro do carbono no solo, a produção de madeira por meio do sistema IPF aumenta a matéria orgânica e fertilidade do solo. Desse modo, este sistema integrado tem potencial para desenvolver uma fonte segura de proteína animal, aumentando a segurança alimentar e diminuindo o aquecimento global.

3 METODOLOGIA

Conforme mencionado anteriormente, o objetivo principal consiste em analisar se, na evolução da pecuária de corte brasileira, entre 2006 e 2017, houve uma intensificação da produção sustentável e se esta exerce efeito sobre as emissões de GEE do setor nas microrregiões brasileiras. Para tanto, é conduzida uma análise multivariada e espacial, utilizando dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017. De forma específica, o estudo aborda a evolução e a distribuição espacial do rebanho bovino e o uso da terra, bem como a construção de um índice de intensificação da pecuária de corte (IIPC) que permita identificar uma associação espacial com as emissões *per capita* animal, buscando corroborar com a literatura técnica sobre o tema no que diz respeito a intensificação sustentável.

A primeira parte da análise baseia-se em uma análise exploratória dos dados Censitários Agropecuários (IBGE) relacionados ao rebanho bovino e uso da terra, com o propósito de descrever a evolução e a distribuição espacial entre essas observações. A segunda parte da análise está fundamentada na construção de um índice de intensificação, por meio da análise fatorial por componentes principais, com o objetivo de visualizar distribuições espaciais e descobrir padrões de associação espacial (*clusters*) entre as variáveis de interesse. As etapas da análise fatorial (AF) pelo método de componentes principais, índice de intensificação da pecuária de corte (IIPC) e a estruturação da análise exploratória de dados espaciais (AEDE) estão descritas nas próximas seções.

3.1 Análise fatorial pelo método de componentes principais

A análise fatorial pelo método dos componentes principais é uma técnica estatística de análise multivariada que busca explicar o comportamento de um número relativamente grande de variáveis correlacionadas em um número relativamente pequeno de componentes não correlacionados entre si.

A análise de componentes principais está intimamente associada com a análise fatorial. As duas técnicas exploratórias produzem combinações lineares de um conjunto de variáveis com a maior variância possível. A primeira considera a variância total de um conjunto de variáveis. Já a análise fatorial considera apenas a variância em comum ou compartilhada de um conjunto de variáveis (HOFFMANN, 2016).

Seguindo a mesma derivação de Hoffmann (2016) e adotando os mesmos procedimentos do autor, a variância será a mesma para todas as variáveis na determinação dos componentes principais, ou seja, dependerá somente das suas correlações com as demais

variáveis. Logo, a matriz das correlações simples e a determinação do primeiro componente principal podem ser apresentados da seguinte forma:

$$x_{ij} = a_{i1}f_{1j} + a_{i2}f_{2j} + \dots + a_{in}f_{nj} \quad (3.1)$$

em que x_i representa a i -ésima variável, a_i as cargas fatoriais e f_n os fatores comuns. Logo, essa relação demonstra que cada uma dessas variáveis x_i pode ser considerada uma combinação linear de n componentes principais ortogonais entre si.

Ainda de acordo com o autor, nos modelos de análise fatorial cada uma das n variáveis representa uma combinação linear de m fatores comuns e mais um fator específico y_i . Dessa forma, o modelo de análise fatorial é, portanto, apresentado da seguinte forma:

$$x_{ij} = a_{i1}f_{1j} + a_{i2}f_{2j} + \dots + a_{ip}f_{pj} + u_i y_{ij} \quad (3.2)$$

em que x_{ij} representa a j -ésima observação da i -ésima variável, a_{ip} e u_i são coeficientes para ($p = 1, \dots, n$) e y_{ij} representa o valor do i -ésimo fator específico para a j -ésima observação.

Para testar a adequação da análise fatorial pelo método dos componentes principais, dois testes são necessários, o teste de esfericidade de Bartlett (BTS) e o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). De acordo com Hair *et al.* (2009) o teste BTS consiste em analisar a presença de correlações entre as variáveis. Em outras palavras, o teste fornece a significância estatística de que a matriz de correlação possui correlações significativas entre as variáveis. Para Lattin, Carroll e Green (2011), o teste é baseado na distribuição estatística qui-quadrado aproximado com um teste estatístico que é função do determinante da matriz de correlação. Em síntese, o teste é formalmente apresentado por:

$$\chi^2 \left[\frac{(n^2 - n)}{2} \right] = - \left[(j - 1) - \frac{(2n + 5)}{6} \right] \ln|\mathbf{R}| \quad (3.3)$$

em que $\ln|\mathbf{R}|$ é o logaritmo natural do determinante da matriz de correlação, $(n^2 - n)/2$ representa o número de graus de liberdade associado ao teste estatístico de qui-quadrado, n é o número de variáveis e j representa o número de observações.

Se o conjunto de dados apresentar características adequadas para a pesquisa, significa que o determinante da matriz de correlação é próximo de zero e o teste de qui-quadrado de Bartlett adquire um grande valor. Se este for o caso, rejeita-se a hipótese nula (H_0) de que a matriz de correlação é a matriz identidade. No entanto, quando o determinante da matriz de correlação é próximo de um, o teste de qui-quadrado de Bartlett é próximo de zero, indicando que os dados são independentes. Neste caso, não há razões para rejeitar a hipótese nula de esfericidade.

Já o teste de Kaiser-Meyer-Olkin, também conhecido como medida de adequação da amostra (MSA), consiste em observar não apenas o coeficiente de correlação, mas também o coeficiente de correlação parcial entre variáveis do conjunto analisado. Em Hoffmann (2016, p. 212), o teste KMO é apresentado da seguinte forma:

$$KMO = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k \neq i} r^2(x_i, x_k)}{\sum_{i=1}^n \sum_{k \neq i} r^2(x_i, x_k) + \sum_{i=1}^n \sum_{k \neq i} \pi^2(x_i, x_k)} \quad (3.4)$$

em que $r(x_i, x_k)$ representa o coeficiente de correlação entre x_i e x_k e $\pi(x_i, x_k)$ representa o coeficiente de correlação parcial entre x_i e x_k , dadas as demais variáveis do conjunto analisado.

Segundo Fávero e Belfiore (2017), a estatística do teste KMO pode assumir valores no intervalo entre zero e um. Desse modo, valores próximos de zero indicam que a análise fatorial pode ser inadequada em razão da baixa correlação entre as variáveis. Por outro lado, valores próximos de um indicam que a análise fatorial é mais adequada. Nesse sentido, Hair *et al.* (2009) afirmam que a estatística do teste KMO deve ficar acima de 0,5 antes de proceder com a análise fatorial.

3.2 Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC)

Para Fávero e Belfiore (2017), as técnicas exploratórias de análise fatorial por componentes principais são muito úteis na elaboração de *rankings* por meio da criação de indicadores de desempenho a partir dos fatores. Para Hoffmann (2016), a análise fatorial pode ser utilizada para obter medidas do grau de modernização, por exemplo da agricultura, nas Microrregiões de um país.

Nesse sentido, no presente trabalho, construiu-se um índice empregando os escores fatoriais, denominado de Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC), que é uma *proxy* que busca representar a intensificação sustentável no setor. Para Cordeiro *et al.* (2015), o conceito compreende a intensificação do uso de recursos em conjunto com adoção de tecnologia e uso de insumos disponíveis, buscando minimizar ou até mesmo eliminar os danos ambientais. Para Chiari *et al.* (2021), a intensificação sustentável significa otimizar o uso da terra do ponto de vista econômico-ambiental. A metodologia de cálculo do índice, por meio da análise fatorial por componentes principais, segue o mesmo procedimento de Hoffmann (2016).

Ademais, encontram-se na literatura diversos estudos que utilizaram o método de análise fatorial por componentes para outros setores da economia, tais como: Melo e Parré

(2007); Santana (2007); Cunha *et al.* (2008); Shikida (2010); Costa *et al.* (2012); Santos *et al.* (2014); Santos *et al.* (2017); Gelatti *et al.* (2020); Garcia *et al.* (2021); Ferreira, Miziara e Vazqu ez-Gonz alez (2022).

O  ndice de Intensifica o da Pecuária de Corte (IIPC) proposto neste trabalho   calculado da seguinte forma:

$$IIPC_i = \sum_{j=1}^n \frac{\lambda_j}{\sum \lambda_j} F_{ij}^* \quad (3.5)$$

em que $IIPC_i$   o  ndice do i -ésima microrregião, λ_j   a j -ésima raiz característica, F_{ij}^*   o j -ésimo escore fatorial da i -ésima microrregião e n representa o número de fatores obtidos da análise. Em outras palavras, λ_j   a variância explicada por fator encontrado, inicialmente, a partir da análise de componentes principais aplicada às variáveis consideradas relevantes para indicar a intensifica o da atividade pecuária de corte e $\sum \lambda_j$   a soma total da variância explicada pelo conjunto de fatores comuns. As variáveis consideradas na análise de componentes principais e fatorial são elencadas mais abaixo.

Para obter valores positivos dos escores fatoriais e possibilitar a hierarquiza o das microrregiões em rela o ao seu indicador de intensifica o, respeitando as características específicas e particularidades nos sistemas de produ o, os dados foram normalizados de acordo com as cinco Grandes Regiões do país. Logo, tem-se a seguinte expressão:

$$F_{ij}^* = \frac{F_{ji} - F_j^{\min}}{F_j^{\max} - F_j^{\min}} \quad (3.6)$$

em que F_j^{\min}   o j -ésimo escore fatorial de menor valor observado e F_j^{\max}   o j -ésimo escore fatorial de maior valor observado.

Cada microrregião foi, então, hierarquizada com base nos resultados do IIPC, atribuindo   microrregião de maior nível de intensifica o o  ndice máximo 100 e assim por diante até o de menor nível de intensifica o. Nessa perspectiva, uma microrregião classificada como de alto nível não resulta, necessariamente, em uma pecuária bovina com uma elevada tecnologia, mas apenas que o seu nível   superior em compara o as demais microrregiões analisadas (SANTOS *et al.*, 2017).

3.3 Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE)

De acordo com Almeida (2012), a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) consiste em verificar se os dados espaciais são distribuídos aleatoriamente, ou seja, testar a hipótese de que os valores de uma variável observada em uma região não dependem dos valores desta mesma variável em regiões vizinhas.

3.3.1 Autocorrelação espacial global e local univariada

Ainda de acordo com Almeida (2012), a autocorrelação espacial global pode ser calculada pela estatística I de Moran que é um coeficiente de autocorrelação espacial, elaborado com o uso de uma medida de autocovariância na forma de produto cruzado pela variância dos dados. Em notação matricial, a estatística I de Moran é descrita da seguinte forma:

$$I = \frac{n \mathbf{z}' \mathbf{W}_z}{S_0 \mathbf{z}' \mathbf{z}} \quad (3.7)$$

em que n é o número de regiões, \mathbf{z} representa os valores da variável de interesse padronizada, \mathbf{W}_z denota os valores médios da variável de interesse padronizada nos vizinhos e que é definida segundo a matriz de ponderação espacial (\mathbf{W}), S_0 representa o somatório de todos os elementos da matriz de ponderação espacial (\mathbf{W}).

Se a estatística I de Moran apresentar um valor esperado de $-[1/(n - 1)]$, a um determinado nível de significância, significa que a distribuição espacial dos dados ocorre de forma aleatória. Neste caso, não há razões para rejeitar a hipótese nula da aleatoriedade espacial. No entanto, quando os valores forem maiores ou menores do que o valor esperado, a estatística de I de Moran indica autocorrelação espacial positiva e negativa, respectivamente. Se este for o caso, rejeita-se a hipótese nula (ALMEIDA, 2012).

Assim sendo, a estatística de autocorrelação linear do tipo produto cruzado pode ser interpretada de duas maneiras diferentes. Uma autocorrelação espacial positiva indica uma similaridade dos valores entre variável de interesse e localização espacial, ou seja, um padrão de concentração espacial. Já uma autocorrelação espacial negativa, indica uma dissimilaridade dos valores entre variável de interesse e localização espacial, ou seja, um padrão de dispersão espacial (ALMEIDA, 2012).

Uma outra forma de observar a autocorrelação espacial é pelo diagrama de dispersão de Moran. Para Anselin (1995), o diagrama mostra a defasagem espacial da variável de interesse no eixo vertical e o valor da variável de interesse no eixo horizontal, ambas padronizadas com média zero e variância unitária. Este diagrama, por sua vez, é representado por um gráfico de

dispersão e uma reta de regressão simples estimada por mínimos quadrados ordinários (MQO). Segundo Almeida (2012), o diagrama de dispersão de Moran pode ser apresentado da seguinte forma:

$$W_z = \alpha + \beta z + \varepsilon \quad (3.8)$$

em que α representa a constante da regressão, β denota o coeficiente angular e ε é o termo de erro aleatório. Então, a equação estimada é dada por:

$$\hat{\beta} = I = \frac{\mathbf{z}' \mathbf{W}_z}{\mathbf{z}' \mathbf{z}} \quad (3.9)$$

em que $\hat{\beta}$ representa o I de Moran com a matriz de pesos espaciais normalizada em linha. De acordo com Perobelli *et al.* (2007), a interpretação adequada do diagrama de dispersão de Moran deve ser realizada por meio de quatro tipos de associação linear espacial, tais como: Alto-Alto (AA), Baixo-Alto (BA), Baixo-Baixo (BB) e Alto-Baixo (AB).

O primeiro quadrante (Alto-Alto) indica as regiões com altos valores para a variável de interesse e que são acompanhadas por regiões que também apresentam altos valores para a variável de interesse. O segundo quadrante (Baixo-Alto) é constituído pelas regiões com baixos valores para a variável de interesse e que são cercadas por regiões com altos valores. Já o terceiro quadrante (Baixo-Baixo) mostra as regiões com baixos valores tanto para a variável de interesse como para as regiões vizinhas. Por último, o quarto quadrante (Alto-Baixo) que é representado por regiões com altos valores para a variável de interesse e que são circundadas por regiões com baixos valores (PEROBELLI *et al.*, 2007).

Embora a autocorrelação espacial global seja muito importante na indicação de padrões de associação linear espacial, ela não possui capacidade de capturar padrões locais de autocorrelação espacial. Nesse sentido, Anselin (1995) apresentou um indicador, denominado de *Local Indicator of Spatial Association* (LISA), que permite identificar padrões de homogeneidade ou heterogeneidade espacial por meio de *clusters* espaciais estatisticamente significativos para cada observação. De acordo com Almeida (2012), o I de Moran local ou LISA é dado por:

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^j w_{ij} z_j \quad (3.10)$$

em que z_i denota os valores da variável de interesse da região i padronizada, w_{ij} representa o elemento da matriz de ponderação espacial (\mathbf{W}) e z_j é o valor da variável de interesse da região j padronizada.

3.3.2 Autocorrelação espacial global e local bivariada

A autocorrelação espacial global pode ser analisada também em um contexto bivariado. Segundo Almeida (2012), o propósito é verificar a existência de um padrão espacial global entre duas variáveis diferentes. Matematicamente, a estatística I de Moran bivariada é definida da seguinte forma:

$$I^{z_1 z_2} = \frac{n \mathbf{z}'_1 \mathbf{W}_{z_2}}{S_0 \mathbf{z}'_1 \mathbf{z}_1} \quad (3.11)$$

Então, se a matriz de pesos espaciais for normalizada em linha, tem-se:

$$I^{z_1 z_2} = \frac{\mathbf{z}'_1 \mathbf{W}_{z_2}}{\mathbf{z}'_1 \mathbf{z}_1} \quad (3.12)$$

em que z_1 e z_2 representam os valores das duas variáveis de interesse padronizadas. Como descrito por Almeida (2012), o numerador reflete uma medida de covariância do tipo cruzada, ao mesmo tempo que o denominador se refere a um reescalonamento utilizando a variância dos dados.

No que diz respeito à inferência, o teste de hipótese é análogo ao I de Moran univariado, ou seja, verifica a hipótese de que os dados espaciais sejam distribuídos aleatoriamente. Da mesma forma, a interpretação da estatística I de Moran bivariada pode indicar uma autocorrelação espacial positiva ou negativa entre as duas variáveis de interesse.

O diagrama de dispersão de Moran bivariado tem grande semelhança com as Equações (3.8) e (3.9). Para Almeida (2012), o diagrama apresenta, no eixo horizontal, os valores de uma variável de interesse observados em uma determinada região. Por outro lado, no eixo vertical, o diagrama plota os valores de outra variável de interesse observados em regiões vizinhas. Ambas as variáveis são padronizadas. Desse modo, o diagrama de dispersão de Moran bivariado pode ser representado da seguinte forma:

$$W_{z_2} = \alpha + \beta z_1 + \varepsilon \quad (3.13)$$

em que α representa a constante da regressão, β é o coeficiente angular e ε representa o termo de erro aleatório. Ainda de acordo com o autor, estimando a equação por MQO, obtém-se:

$$\hat{\beta} = I^{z_1 z_2} = \frac{\mathbf{z}'_1 \mathbf{W}_{z_2}}{\mathbf{z}'_1 \mathbf{z}_1} \quad (3.14)$$

em que $\hat{\beta}$ representa o coeficiente angular da reta de regressão da defasagem espacial (\mathbf{W}_{z_2}) contra a variável de interesse (z_1). Do mesmo modo, a interpretação do diagrama de Moran

bivariado dever ser realizada por quadrantes, considerados em quatro tipos de associação linear espacial, a saber, Alto-Alto, Baixo-Alto, Baixo-Baixo e Alto-Baixo.

Para obter uma medida de autocorrelação espacial local multivariada, Anselin, Syabri e Smirnov (2002) apresentaram um indicador que captura a relação entre o valor de uma variável local e a média dos valores vizinhos para outra variável. De acordo com Almeida (2012), o I de Moran local bivariado é dado por:

$$I_i^{z_1z_2} = z_{1i}W_{z_{2i}} \quad (3.15)$$

em que z_{1i} e z_{2i} representam os valores das duas variáveis de interesse padronizadas e $W_{z_{2i}}$ denota a defasagem espacial da variável padronizada z_{2i} .

3.4 Fonte e tratamento dos dados

Entre seus objetivos específicos, este estudo pretende analisar se, na evolução da pecuária de corte, houve uma intensificação da produção sustentável (considerando-se o índice proposto neste trabalho como uma indicação dessa intensificação) e se existe efeito entre o índice de intensificação da pecuária de corte (IIPC) e as emissões *per capita* animal nas microrregiões brasileiras. Esta análise é possível por meio da estatística multivariada e análise espacial.

Inicialmente, fez-se uma análise exploratória dos dados das 558 microrregiões brasileiras buscando analisar a evolução das características e das atividades econômicas relacionadas à pecuária bovina realizadas nos estabelecimentos agropecuários, entre os anos de 2006 e 2017, a partir dos dados dos Censos Agropecuários do IBGE. Com o objetivo de captar a presença das práticas de sustentabilidade ambiental e verificar se ocorreu evolução do indicador, entre 2006 e 2017, as variáveis foram identificadas e selecionadas de acordo com o referencial teórico e técnico descritos no Quadro 3.1. Desse modo, chegou-se a um total de 18 variáveis que buscam representar o conceito de intensificação sustentável segundo Cordeiro *et al.* (2015) e Chiari *et al.* (2021).

Quadro 3.1 – Variáveis Seleccionadas para Indicar Práticas de Sustentabilidade Ambiental nas Atividades da Pecuária Bovina – 2006/2017

(continua)

Variável	Descrição	Referencial Teórico e Técnico
X ₁	Taxa de lotação (número de cabeças de bovinos / áreas de pastagens totais da pecuária)	Capper e Bauman (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Dias <i>et al.</i> (2016); Santos <i>et al.</i> (2017); Congio <i>et al.</i> (2018); Souza Filho <i>et al.</i> (2019); Beauchemin <i>et al.</i> (2020); Costa <i>et al.</i> (2020); Congio <i>et al.</i> (2021); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2021)
X ₂	Proporção do número de cabeças de bovinos vendidas para cria, recria ou engorda em relação ao número total de cabeças de bovinos dos estabelecimentos agropecuários	Capper e Bauman (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Santos <i>et al.</i> (2017); Beauchemin <i>et al.</i> (2020); Costa <i>et al.</i> (2020); Vinholis <i>et al.</i> (2020); Congio <i>et al.</i> (2021); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2021)
X ₃	Proporção de áreas de pastagens plantadas em boas condições em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Capper e Bauman (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Herrero <i>et al.</i> (2016); Santos <i>et al.</i> (2017); Abdalla <i>et al.</i> (2018); Congio <i>et al.</i> (2018); Souza Filho <i>et al.</i> (2019); Arango <i>et al.</i> (2020); Beauchemin <i>et al.</i> (2020); Costa <i>et al.</i> (2020); Vinholis <i>et al.</i> (2020); Congio <i>et al.</i> (2021); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2021)
X ₄	Proporção de áreas de pastagens plantadas em boas condições em relação às áreas de pastagens plantadas degradadas dos estabelecimentos agropecuários	Capper e Bauman (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Herrero <i>et al.</i> (2016); Santos <i>et al.</i> (2017); Abdalla <i>et al.</i> (2018); Congio <i>et al.</i> (2018); Souza Filho <i>et al.</i> (2019); Beauchemin <i>et al.</i> (2020); Costa <i>et al.</i> (2020); Vinholis <i>et al.</i> (2020); Congio <i>et al.</i> (2021); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2021); Feltran-Barbieri e Féres (2021)
X ₅	Proporção de áreas de matas e/ou florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal da pecuária em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Dias <i>et al.</i> (2016); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Herrero <i>et al.</i> (2016); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Santos <i>et al.</i> (2020); Vinholis <i>et al.</i> (2020); Barreto (2021); Feltran-Barbieri e Féres (2021)

(continuação)

Variável	Descrição	Referencial Teórico e Técnico
X ₆	Proporção de áreas de matas e/ou florestas naturais da pecuária em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Dias <i>et al.</i> (2016); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Herrero <i>et al.</i> (2016); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Santos <i>et al.</i> (2020); Vinholis <i>et al.</i> (2020); Barreto (2021); Feltran-Barbieri e Féres (2021)
X ₇	Proporção do número de estabelecimentos de pecuária com recursos hídricos que possuem nascentes protegidas por matas em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Dias <i>et al.</i> (2016); Capper e Bauman (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Herrero <i>et al.</i> (2016); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Santos <i>et al.</i> (2020); Barreto (2021); Feltran-Barbieri e Féres (2021)
X ₈	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária com recursos hídricos que possuem rios ou riachos protegidos por matas em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Dias <i>et al.</i> (2016); Capper e Bauman (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Herrero <i>et al.</i> (2016); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Santos <i>et al.</i> (2020); Barreto (2021); Feltran-Barbieri e Féres (2021)
X ₉ *	Proporção de áreas dos estabelecimentos da pecuária que adotam práticas agrícolas em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Capper e Bauman (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Herrero <i>et al.</i> (2016); Santos <i>et al.</i> (2017); Congio <i>et al.</i> (2018); Lapola <i>et al.</i> (2014); Abdalla (2018); Souza Filho <i>et al.</i> (2019); Arango <i>et al.</i> (2020); Barreto (2021); Congio <i>et al.</i> (2021); Fasiaben <i>et al.</i> (2021)
X ₁₀	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária que realizaram despesas com sementes e mudas em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Carvalho <i>et al.</i> (2014); Herrero <i>et al.</i> (2016); Alves <i>et al.</i> (2017); Abdalla <i>et al.</i> (2018); Congio <i>et al.</i> (2018); Souza Filho <i>et al.</i> (2019); Arango <i>et al.</i> (2020); Beauchemin <i>et al.</i> (2020); Vinholis <i>et al.</i> (2020); Barreto (2021); Congio <i>et al.</i> (2021)

(continuação)

Variável	Descrição	Referencial Teórico e Técnico
X ₁₁	Proporção de áreas de sistemas agroflorestais da pecuária em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Carvalho <i>et al.</i> (2014); Herrero <i>et al.</i> (2016); Alves <i>et al.</i> (2017); Santos <i>et al.</i> (2017); Abdalla <i>et al.</i> (2018); Congio <i>et al.</i> (2018); Souza Filho <i>et al.</i> (2019); Arango <i>et al.</i> (2020); Beauchemin <i>et al.</i> (2020); Vinholis <i>et al.</i> (2020); Congio <i>et al.</i> (2021); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Barreto (2021); Fasiaben <i>et al.</i> (2021); Feltran-Barbieri e Féres (2021)
X ₁₂	Proporção do número total de estabelecimentos que receberam orientação técnica em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Capper e Bauman (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Santos <i>et al.</i> (2017); Souza Filho <i>et al.</i> (2019); Arango <i>et al.</i> (2020); Beauchemin <i>et al.</i> (2020); Costa <i>et al.</i> (2020); Vinholis <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2021)
X ₁₃	Proporção do número total de estabelecimentos que realizaram controle de doenças e/ou parasitas nos animais em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Capper e Bauman (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Herrero <i>et al.</i> (2016); Santos <i>et al.</i> (2017); Beauchemin <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2021)
X ₁₄	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária que realizaram despesas com medicamentos em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Capper e Bauman (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Herrero <i>et al.</i> (2016); Santos <i>et al.</i> (2017); Beauchemin <i>et al.</i> (2020); Congio <i>et al.</i> (2021)
X ₁₅	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária que realizaram despesas com sal, ração e outros suplementos em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Capper e Bauman (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Herrero <i>et al.</i> (2016); Santos <i>et al.</i> (2017); Arango <i>et al.</i> (2020); Beauchemin <i>et al.</i> (2020); Costa <i>et al.</i> (2020); Congio <i>et al.</i> (2021); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2021)

(conclusão)

Variável	Descrição	Referencial Teórico e Técnico
X ₁₆	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária que realizaram despesas com energia elétrica em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2021)
X ₁₇	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária com unidades armazenadoras em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Carvalho <i>et al.</i> (2014); Herrero <i>et al.</i> (2016); Alves <i>et al.</i> (2017); Abdalla <i>et al.</i> (2018); Congio <i>et al.</i> (2018); Souza Filho <i>et al.</i> (2019); Arango <i>et al.</i> (2020); Beauchemin <i>et al.</i> (2020); Vinholis <i>et al.</i> (2020); Congio <i>et al.</i> (2021)
X ₁₈ **	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária que possuem máquinas e implementos agrícolas em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Fasiaben <i>et al.</i> (2013); Vinholis <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2020); Fasiaben <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Elaboração própria com base nos dados disponíveis nos Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

Notas: *Representa o somatório das áreas dos estabelecimentos da pecuária que adotam plantio em nível, rotação de culturas, pousio ou descanso de solo e proteção e/ou conservação de encostas;

**Representa o somatório do número de estabelecimentos da pecuária que possuem semeadeiras/plantadeiras, colheitadeiras e adubadeiras e/ou distribuidoras de calcário.

Para comparar a evolução histórica das informações entre os Censos Agropecuários, é importante ressaltar que não foi possível adicionar algumas variáveis importantes e utilizadas pelo referencial teórico e técnico (Quadro 3.1) para representar a adoção de tecnologias e práticas de produção na pecuária bovina de corte. É o caso do conjunto de dados que foram disponibilizados no Censo Agropecuário de 2006 e não foram disponibilizados no de 2017, tais como: número de estabelecimentos agropecuários que fazem rotação de pastagens, adubação de pastagens, confinamento de animais, finalidade da fase de criação desagregada, rastreamento de animais, inseminação artificial e transferência de embriões.

Igualmente, identificou-se que muitos dados e categorias disponibilizados no ano de 2006, não foram disponibilizados no Censo Agropecuário de 2017 para grupo e classe de atividade econômica denominada ‘Criação de bovinos’. Em função disso, optou-se como *proxy* o grupo de atividade econômica ‘Pecuária e criação de outros animais’. Esta *proxy* busca reproduzir a classe de atividade econômica que não foi disponibilizada em 2017 e que poderia prejudicar uma análise comparativa entre os dois Censos Agropecuários.

Em seguida, conforme metodologia de Hoffmann (2016), foram calculadas as 18 variáveis a partir da análise fatorial pelo método de componentes principais, por meio do *software* R. A análise fatorial agrupou as 18 variáveis em cinco fatores para o ano de 2006 e quatro para 2017. Além disso, utilizou-se o critério de transformação ortogonal *Varimax* com o objetivo de simplificar a estrutura e facilitar a interpretação dos fatores. Cabe ressaltar que foram realizados os testes do critério da raiz latente (autovalores maiores do que a unidade) e gráfico de declividade *screen test* para determinar a escolha do número de fatores. Por fim, a adequabilidade do modelo estimado para o tratamento dos dados foi confirmada pelos resultados satisfatórios dos testes KMO e BTS.

Em vista disso, construiu-se um indicador denominado de Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC), ou seja, uma *proxy* que busca representar a adoção de tecnologias e práticas de produção na bovinocultura de corte. Para obter a hierarquização das microrregiões brasileiras, respeitando as características específicas e particularidades do sistema produtivo do setor, os dados foram normalizados pelos escores das microrregiões de cada Grande Região (Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste).

Em seguida, foi necessário realizar um tratamento na base de dados disponibilizado pelo Observatório do Clima a nível municipal, nos anos de 2006 e 2017, para a construção da variável denominada emissões *per capita* animal. Primeiramente, os dados foram agregados por subsetores relacionados a fermentação entérica, manejo de dejetos animais e solos manejados da categoria ‘Gado de corte’. Depois, os dados municipais foram agregados a nível

de microrregiões conforme definição do IBGE. Por fim, o resultado dessa etapa foi dividido pelo número de bovinos (cabeças) de cada microrregião. A variável emissões *per capita* animal é expressa da seguinte forma:

$$Emissões\ per\ capita\ animal = \frac{Emissões\ totais\ (tCO_2e)}{Número\ de\ bovinos\ (cabeças)} \quad (3.16)$$

Na sequência, a fim de identificar padrões de associação espacial (*clusters*) e possíveis efeitos de transbordamento (*spillovers*) entre o IIPC e as emissões *per capita* animal da pecuária de corte, utilizaram-se técnicas de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) com dados do Observatório do Clima de 2006 e 2017, por meio do *software* GeoDa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 A evolução da pecuária de corte no Brasil

4.1.1 Distribuição geográfica da pecuária de corte

Examina-se, aqui, a evolução, entre 2006 e 2017, da distribuição do rebanho bovino e dos estabelecimentos agropecuários com criação de bovinos no Brasil. A Tabela 4.1 mostra uma redução no número de bovinos de 176,1 milhões para 172,7 milhões de cabeças. Essa redução em alguma medida, teve a ver com um crescimento do abate de matrizes e um aumento da demanda externa por carne nos últimos anos (IBGE, 2016). No caso dos estabelecimentos mostra um aumento, tanto no número, de 1,63 milhão para 1,69 milhão de unidades, como na área, de 198 milhões para 203 milhões de hectares. A taxa de lotação, em 2006, era de 0,89 animal por hectare e foi para 0,85 animal por hectare em 2017.

Tabela 4.1 – Rebanho Bovino, Número e Área dos Estabelecimentos – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017

Brasil e Grande Região	2006	2017	Varição Percentual (2006-2017)
Rebanho Bovino (Cabeças)			
Brasil	176.147.501	172.719.164	-1,95%
Norte	32.564.287	34.764.279	6,76%
Nordeste	25.833.159	21.684.276	-16,06%
Sudeste	34.554.483	31.540.382	-8,72%
Sul	23.578.619	23.580.353	0,01%
Centro-Oeste	59.616.953	61.149.874	2,57%
Número de Estabelecimentos (Unidades)*			
Brasil	1.639.765	1.692.588	3,22%
Norte	168.352	208.180	23,66%
Nordeste	578.456	578.915	0,08%
Sudeste	377.327	408.454	8,25%
Sul	304.932	263.004	-13,75%
Centro-Oeste	210.698	234.035	11,08%
Área dos Estabelecimentos (Hectares)*			
Brasil	198.813.414	203.116.151	2,16%
Norte	36.853.425	45.211.878	22,68%
Nordeste	37.399.683	36.696.270	-1,88%
Sudeste	29.763.386	31.350.765	5,33%
Sul	15.819.973	14.753.244	-6,74%
Centro-Oeste	78.976.946	75.103.994	-4,90%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

Nota: *Dados por classe de atividade 'Criação de bovinos'.

É interessante observar, também, a evolução do efetivo bovino em nível regional. A Região Norte foi a que apresentou o maior crescimento relativo de animais (6,76%) e ultrapassou a Região Sudeste como o segundo maior rebanho bovino do país. Além disso, o

crescimento do rebanho ocorreu simultaneamente com o aumento da área (+22,68%) e do número (+23,66%) dos estabelecimentos. Nos últimos anos, segundo o próprio IBGE (2016), observa-se um movimento da bovinocultura para o Norte do País, o que se deve, em parte, aos baixos preços das terras, disponibilidade hídrica, clima favorável e abertura de grandes plantas frigoríficas.

O Nordeste e o Sudeste apresentaram redução no rebanho bovino de 16,06% e 8,72%, respectivamente. As reduções no rebanho indicam um deslocamento da bovinocultura para outras áreas, destacando-se, no período, como já apontado, o crescimento do rebanho na Região Norte. Entre as áreas dos estabelecimentos, apenas o Nordeste não apresentou crescimento (-1,88%). Porém, o número de estabelecimentos aumentou tanto no Nordeste (+0,08) quanto no Sudeste (+8,25%).

No Centro-Oeste, que detém o maior plantel bovino do país, houve um aumento do rebanho (+2,57%) e no número (11,08%) dos estabelecimentos simultaneamente com uma redução da área (-4,90%) dedicada a criação de bovinos, indicando uma melhora na produtividade. Na Região Sul, observa-se um comportamento parecido em relação ao Centro-Oeste, ou seja, não houve uma mudança significativa no rebanho (+0,01%), porém, verifica-se uma redução no número (-13,75%) e na área (-6,74%) dos estabelecimentos com criação de bovinos, indicando, também, uma melhora na produtividade.

Na Figura 4.1, observa-se que o efetivo de bovinos não só permaneceu bastante concentrado como se estendeu para algumas outras microrregiões, entre 2006 e 2017. Ressalta-se o conjunto formado pelas microrregiões do Baixo Amazonas (Santarém), Leste Rondoniense (Ji-Paraná, Cacoal, Vilhena e Colorado do Oeste), Norte e Nordeste Mato-grossense (Norte Araguaia, Médio Araguaia, Aripuanã, Alta Floresta e Colíder), Sudeste Paraense (São Félix do Xingu), Sudoeste Mato-Grossense (Alto Guaporé e Jauru).

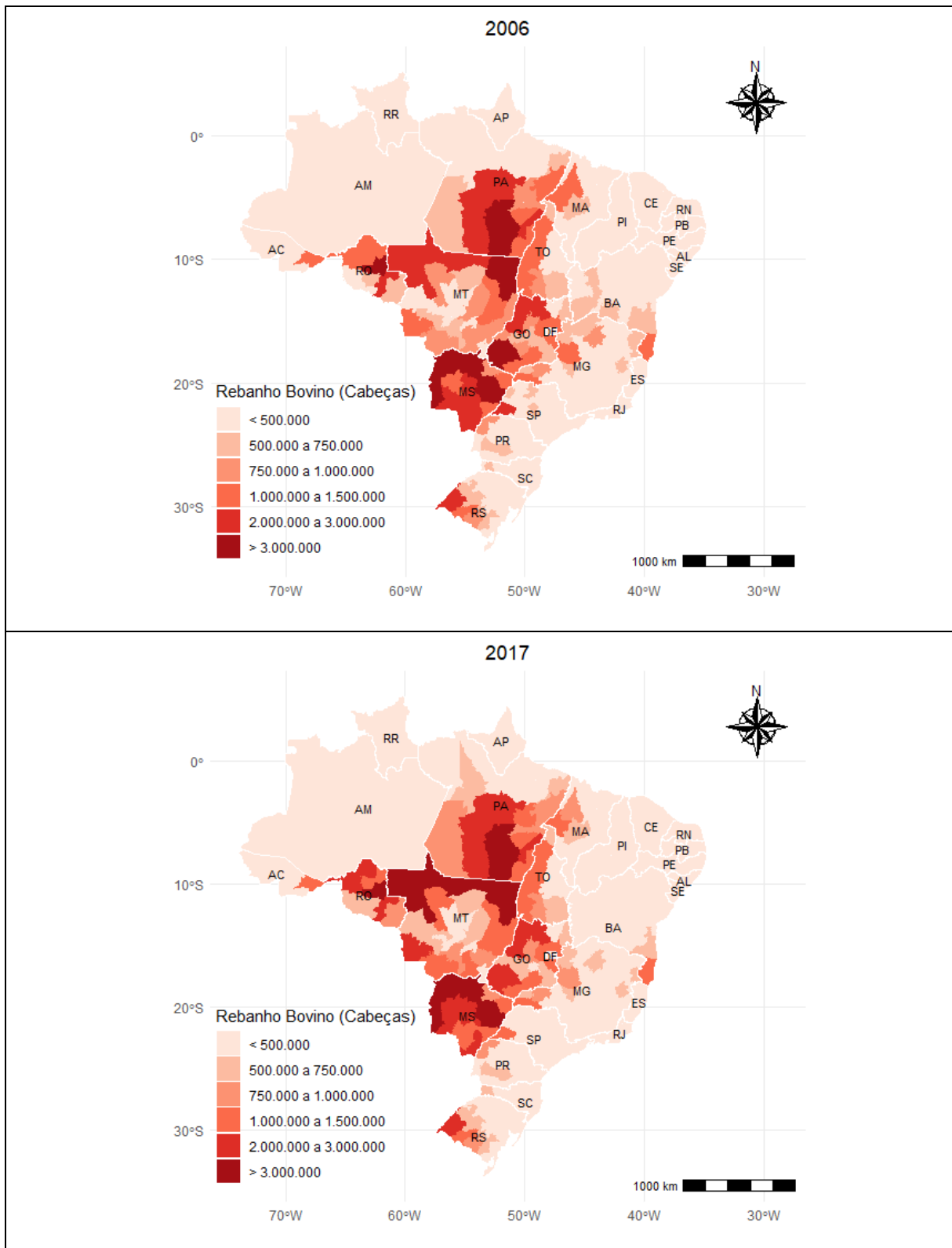


Figura 4.1 – Evolução do Rebanho Bovino por Microrregiões – Brasil – 2006/2017
 Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

A principal região produtora de bovinos no Brasil é o Centro-Oeste, que além de participar do *ranking* com seis microrregiões (Tabela 4.2), possui ainda o maior rebanho do

país. De acordo com a Tabela 4.2, a região foi responsável por 8,1% ou 14,3 milhões do total de bovinos em 2006. No geral, o destaque é para a microrregião de Três Lagoas (MS) que apresentou o maior rebanho, seguida por São Félix do Xingu (PA) e Alto Taquari (MS).

Tabela 4.2 – Os Dez Maiores Rebanhos Bovinos por Microrregiões – Brasil – 2006

Microrregião	Bovinos (Cabeças)	Participação no Rebanho Brasileiro (%)
Três Lagoas (MS)	3.756.539	2,13%
São Félix do Xingu (PA)	2.610.957	1,48%
Alto Taquari (MS)	2.430.166	1,38%
Baixo Pantanal (MS)	2.386.807	1,36%
Sudoeste de Goiás (GO)	2.228.255	1,26%
Ji-Paraná (RO)	2.212.729	1,26%
Norte Araguaia (MT)	2.087.195	1,18%
Dourados (MS)	1.965.113	1,12%
Iguatemi (MS)	1.915.616	1,09%
Campo Grande (MS)	1.884.296	1,07%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

Em 2017, a microrregião de Três Lagoas (MS) manteve o posto de maior rebanho bovino, apesar de uma forte redução no número de cabeças, com queda de 18,0%. Em segundo lugar no *ranking*, destaca-se a microrregião de Aripuanã (MT), cujo rebanho aumentou 52,9% entre os dois períodos do estudo. Também, destacam-se as microrregiões de Alta Floresta (MT), Colíder (MT) e Altamira (PA) que apresentaram aumentos relevantes no efetivo de bovinos de 26,9%, 8,7% e 27,0%, respectivamente.

Tabela 4.3 – Os Dez Maiores Rebanhos Bovinos por Microrregiões – Brasil – 2017

Microrregião	Bovinos (Cabeças)	Participação no Rebanho Brasileiro (%)
Três Lagoas (MS)	3.078.988	1,78%
Aripuanã (MT)	2.675.017	1,55%
Baixo Pantanal (MS)	2.586.257	1,50%
São Félix do Xingu (PA)	2.557.518	1,48%
Alto Taquari (MS)	2.549.251	1,48%
Norte Araguaia (MT)	2.436.503	1,41%
Ji-Paraná (RO)	2.221.903	1,29%
Alta Floresta (MT)	2.036.726	1,18%
Colíder (MT)	2.003.022	1,16%
Altamira (PA)	1.997.369	1,16%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

4.1.2 Mudanças no uso da terra na pecuária de corte

Na seção anterior foi possível observar que, entre 2006 e 2017, houve um pequeno aumento na área total dos estabelecimentos agropecuários com criação de bovinos ao mesmo tempo que ocorreu uma redução no rebanho bovino.

A Tabela 4.4 apresenta a área dos estabelecimentos agropecuários direcionados para a criação de bovinos, segundo grandes grupos de uso das terras. Entre 2006 e 2017, houve um aumento de 4,3 milhões de hectares na área total dos estabelecimentos voltados para a criação de bovinos. Na área total de pastagens contidas em estabelecimentos agropecuários, observou-se um aumento de 3,8 milhões de hectares, variação de 3,0% em relação ao período anterior.

Tabela 4.4 – Uso da Terra por Classe de Atividade (Propriedades com Criação de Bovinos) – Brasil – 2006/2017

Utilização das Terras (Hectares)	2006	2017	Varição Percentual (2006-2017)
Área dos Estabelecimentos	198.813.414	203.116.151	2,2%
Pastagens Totais	126.576.132	130.386.159	3,0%
Pastagens Naturais	41.504.851	35.038.878	-15,6%
Pastagens Plantadas	85.071.281	95.347.281	12,0%
Boas Condições	77.381.652	86.420.082	11,7%
Degradadas	7.689.629	8.927.199	16,1%
Matas e/ou Florestas Totais*	50.718.450	52.482.907	3,5%
Preservação Permanente	32.163.920	44.151.173	37,3%
Naturais	18.554.530	8.331.734	-55,1%
Sistemas Agroflorestais	4.111.610	7.133.226	73,5%
Lavouras Permanentes	1.900.035	928.715	-51,1%
Lavouras Temporárias	5.460.518	4.908.185	-10,1%
Outros**	10.046.669	7.276.959	-27,6%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

Notas: *Não foram consideradas nesta categoria às áreas cobertas por matas e florestas plantadas com espécies florestais, nativas ou exóticas, utilizadas para a produção de madeiras e seus derivados, conforme definição do IBGE (2017);

** Representa o somatório das seguintes áreas: cultivo de flores, matas e/ou florestas plantadas com essências florestais, tanques, lagos e/ou área de águas públicas para exploração de aquicultura, construções, benfeitorias ou caminhos, terras degradadas e terras inaproveitáveis para agricultura ou pecuária.

Na categoria áreas de pastagens naturais, verifica-se uma redução de 6,4 milhões de hectares (-15,6%), concentrados nas Regiões Centro-Oeste, com 1,9 milhão de hectares e no Sudeste, com 1,8 milhão de hectares, em valores absolutos. Considerando as pastagens plantadas, observa-se um aumento de 12% (10,2 milhões de hectares). Porém, ao se analisar os dados por pastagens em boas condições e pastagens degradadas, nota-se um aumento de 9 milhões de hectares (11,7%) e 1,2 milhões de hectares (16,1%), respectivamente.

Nas áreas com matas e florestas contidas em estabelecimentos agropecuários, verifica-se uma elevação de 11,9 milhões de hectares, correspondendo um aumento de 37,3%, nas áreas destinadas à preservação permanente ou reserva legal. Por outro lado, observa-se uma redução de 10,2 milhões de hectares, correspondendo a uma queda de 55,1% nas áreas com matas e florestas naturais destinadas ao manejo florestal sustentável.

Nas áreas ocupadas com o sistema agroflorestal de produção, observou-se aumento de 3 milhões de hectares, correspondendo a 73,5%. Para as áreas de lavouras, observou-se uma redução tanto nas lavouras permanentes como nas lavouras temporárias. No primeiro caso, houve uma redução de 971 mil hectares, correspondendo a 51,1%. Já as áreas de lavouras temporárias apresentaram redução de 552 mil hectares ou 10,1%.

A Tabela 4.5 apresenta a evolução, entre 2006 a 2017, das áreas de pastagens totais em termos regionais. Do mesmo modo que houve um aumento na área total de pastagens no país, chama a atenção o fato da Região Norte apresentar um acréscimo de 6 milhões de hectares, isto é, um crescimento de 27,30% no período analisado. Ademais, observa-se um aumento de 988 mil hectares na Região Sudeste, enquanto que nas Regiões Nordeste, Sul e Centro-Oeste ocorreu redução de 697 mil hectares, 302 mil hectares e 2,2 milhões de hectares, respectivamente.

Tabela 4.5 – Pastagens Totais por Classe de Atividade (Propriedades com Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017

Brasil e Grande Região	2006	2017	Variação Percentual (2006-2017)
Brasil	126.576.132	130.386.160	3,0%
Norte	22.077.345	28.105.243	27,3%
Nordeste	20.623.367	19.926.008	-3,4%
Sudeste	20.850.245	21.839.064	4,7%
Sul	10.379.692	10.076.951	-2,9%
Centro-Oeste	52.645.483	50.438.893	-4,2%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

Prosseguindo com a análise, a Figura 4.2 ilustra a evolução das áreas de pastagens em relação a área territorial do país, ou seja, representam propriedades que possuem atividades relacionadas a criação de bovinos nessas áreas ocupadas. Em 2006, a área total das pastagens representou 14,8% sobre a área territorial (851,5 milhões de hectares) do país. Já em 2017, a área total das pastagens representou 15,3%, um crescimento de apenas 3,4%, entre os anos. Em outras palavras, estes resultados representam propriedades que possuem atividades relacionadas a criação de bovinos.

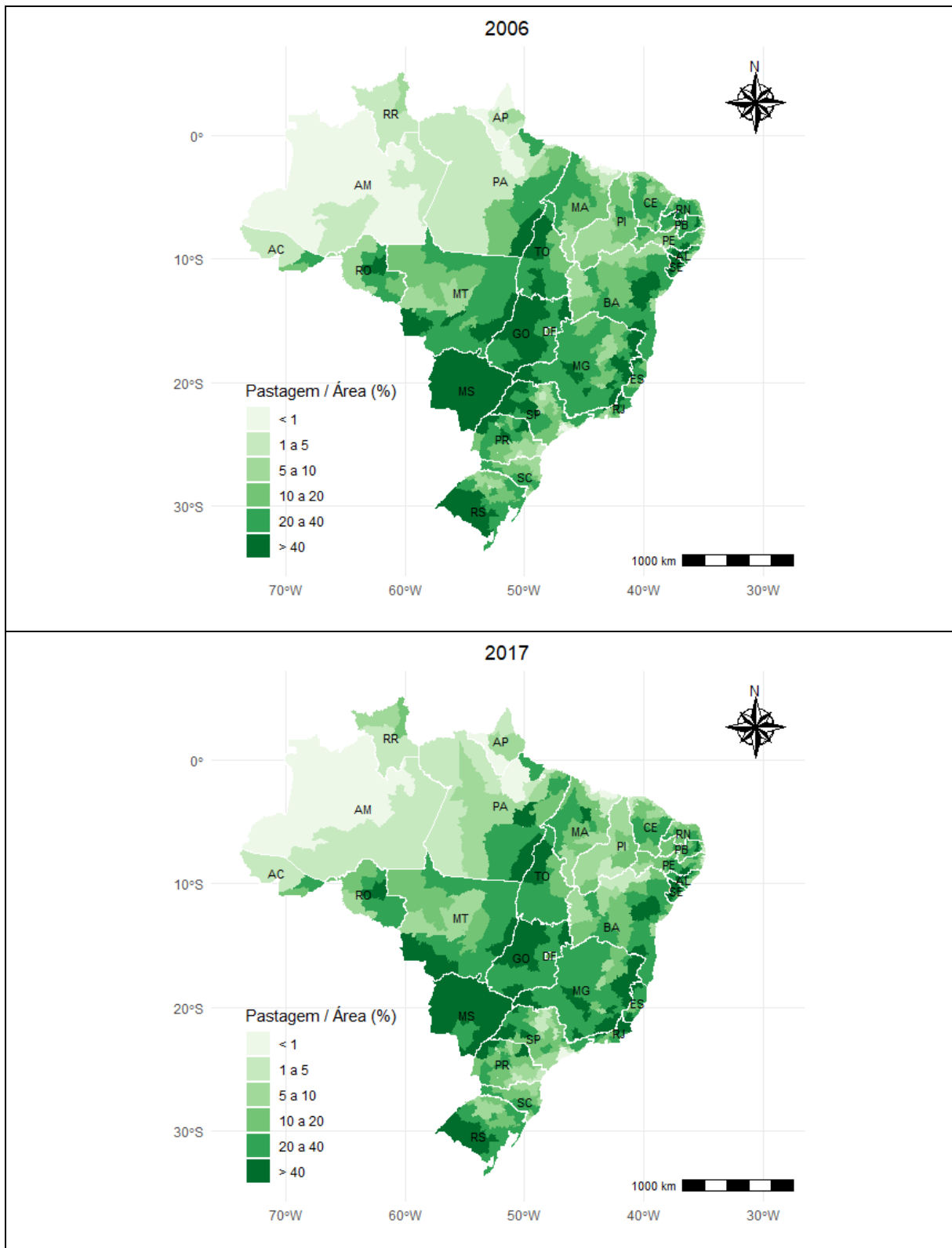


Figura 4.2 – Evolução das Áreas de Pastagens em Relação às Áreas Territoriais por Microrregiões – 2006/2017
 Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

Ainda de acordo com a Figura 4.2, nota-se que, aproximadamente, 16% das microrregiões localizadas nas regiões do Noroeste, Centro e Sul Goiano, Pantanaís Sul Mato-

grossense, Centro Norte, Leste e Sudoeste de Mato Grosso do Sul, Triângulo Mineiro, Vale do Rio Doce, São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília, Sudoeste Rio-grandense e Agreste Sergipano apresentam propriedades com atividades voltadas para a criação de bovinos, com áreas ocupadas de pastagens, acima de 40%, em 2006 e 2017.

Nas áreas de pastagens naturais dos estabelecimentos agropecuários (Tabela 4.6), verificou-se uma redução de 6,4 milhões de hectares, representando uma redução de 15,6% em relação ao período de 2006, com reduções assim distribuídas: 318 mil hectares na Região Norte, 1,8 milhão de hectares nas Região Nordeste e Sudeste, 682 mil hectares na Região Sul e 1,9 milhão de hectares na Região Centro-Oeste.

Tabela 4.6 – Pastagens Naturais por Classe de Atividade (Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017

Brasil e Grande Região	2006	2017	Varição Percentual (2006-2017)
Brasil	41.504.851	35.038.878	-15,6%
Norte	4.351.370	4.033.076	-7,3%
Nordeste	9.887.760	8.106.214	-18,0%
Sudeste	7.954.635	6.149.561	-22,7%
Sul	6.989.279	6.306.541	-9,8%
Centro-Oeste	12.321.806	10.443.487	-15,2%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

A Figura 4.3 ilustra a evolução das áreas de pastagens naturais por microrregiões, entre 2006 e 2017. No geral, observa-se uma redução de 137 microrregiões (24,6%) para 91 microrregiões (16,3%) que possuíam 80% ou mais de áreas com pastagens naturais. Portanto, um decréscimo de 33,7%, com destaque para as microrregiões localizadas no Vale São-Franciscano da Bahia, Noroeste e Norte Cearense, Sertões Cearenses, Jaguaribe, Sertão Paraibano, Borborema, Agreste Paraibano, Agreste Pernambucano, Metropolitana de Recife, Centro-Norte e Sudeste Piauiense, Oeste e Agreste Potiguar, Norte do Amapá, Vale do Paraíba Paulista, Metropolitana de São Paulo, Noroeste e Nordeste Rio-grandense, Centro Ocidental Rio-grandense, metropolitana de Porto Alegre, Sudoeste e Sudeste Rio-grandense, e Serrana.

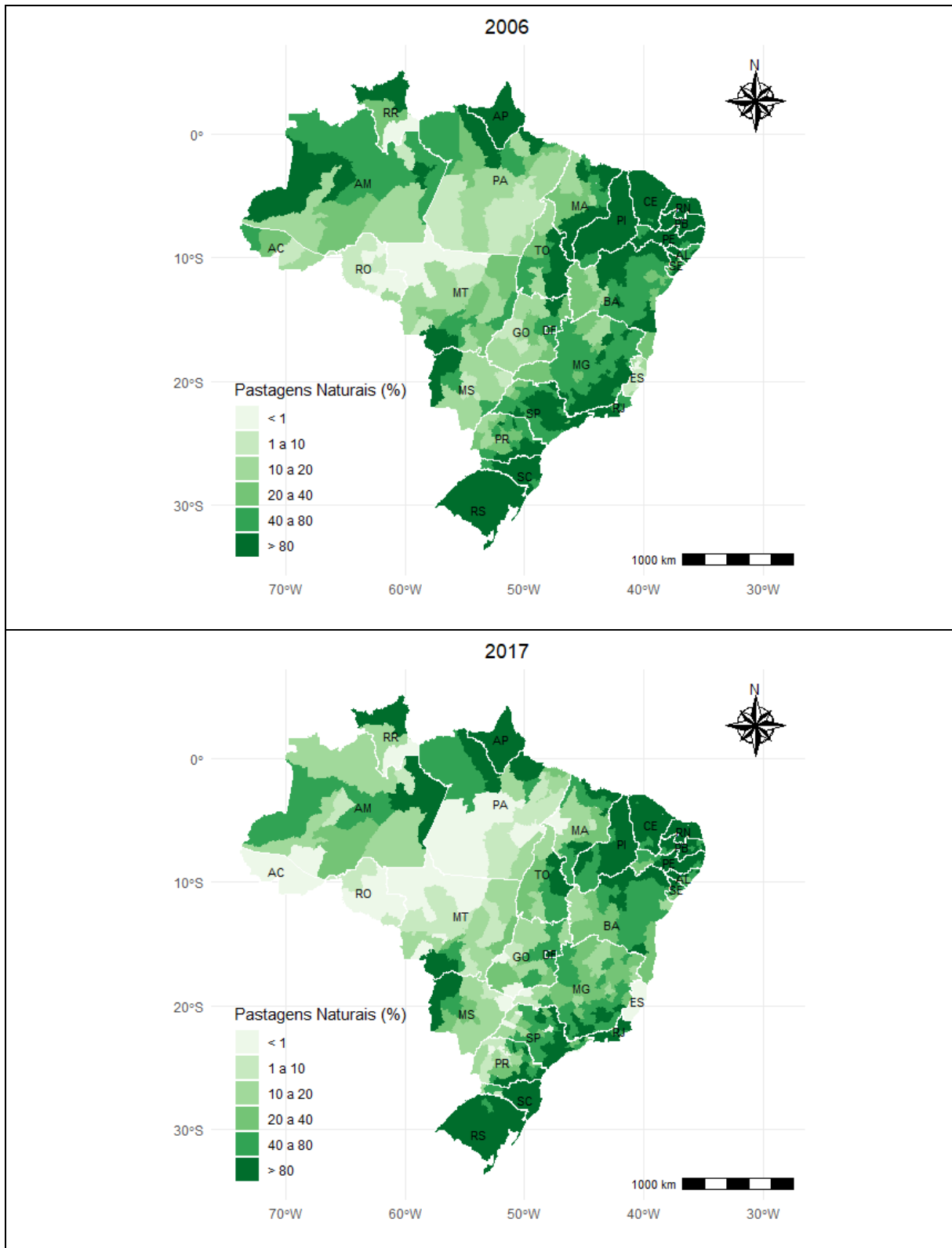


Figura 4.3 – Evolução das Pastagens Naturais por Microrregiões – 2006/2017

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

Na Tabela 4.7, observa-se a evolução das áreas de pastagens plantadas para a criação de bovinos, entre 2006 e 2017. Nesse contexto, nota-se um aumento em todas as Regiões, com exceção do Centro-Oeste. Na Região Norte verificou-se mais de 6,3 milhões de hectares nestas

áreas, uma variação de 35,8%. No Nordeste, também, verificou-se aumento de 1 milhão de hectares, correspondentes a 10,1%. Na Região Sudeste, o aumento verificado foi de 2,7 milhões de hectares (cerca de 21,7%). No Sul, o aumento foi de 379 mil hectares ou 11,2% a mais em áreas de pastagens plantadas. Finalmente, no Centro-Oeste, nota-se uma pequena redução de 308 mil hectares.

Tabela 4.7 – Pastagens Plantadas por Classe de Atividade (Propriedades com Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017

Brasil e Grande Região	2006	2017	Varição Percentual (2006-2017)
Brasil	85.071.282	95.347.282	12,0%
Norte	17.725.975	24.072.167	35,8%
Nordeste	10.735.607	11.819.794	10,1%
Sudeste	12.895.609	15.689.503	21,7%
Sul	3.390.412	3.770.411	11,2%
Centro-Oeste	40.323.678	39.995.407	-0,8%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

De acordo com a Figura 4.4, em ambos os anos, grande parte dos estabelecimentos com criação de bovinos apresentavam áreas de pastagens plantadas superiores a 80% de seu total com pastagens. De forma mais específica, houve um aumento de 90 para 138 microrregiões que passaram a pertencer ao intervalo mais alto (80% ou mais), correspondendo a um aumento de 53,3%, em 2017.

No geral, segundo a Figura 4.4, houve uma redução nas áreas de pastagens plantadas nas seguintes regiões: Centro-Sul Mato-grossense, Agreste Alagoano, Leste Alagoano, Nordeste Baiano, Sertão Sergipano, Centro Amazonense, Norte de Roraima, Noroeste Fluminense, Metropolitana do Rio de Janeiro, São José do Rio Preto, Ribeirão Preto, Campinas, litoral Sul Paulista, Metropolitana de São Paulo, Norte Pioneiro Paranaense e Centro-Sul Paranaense.

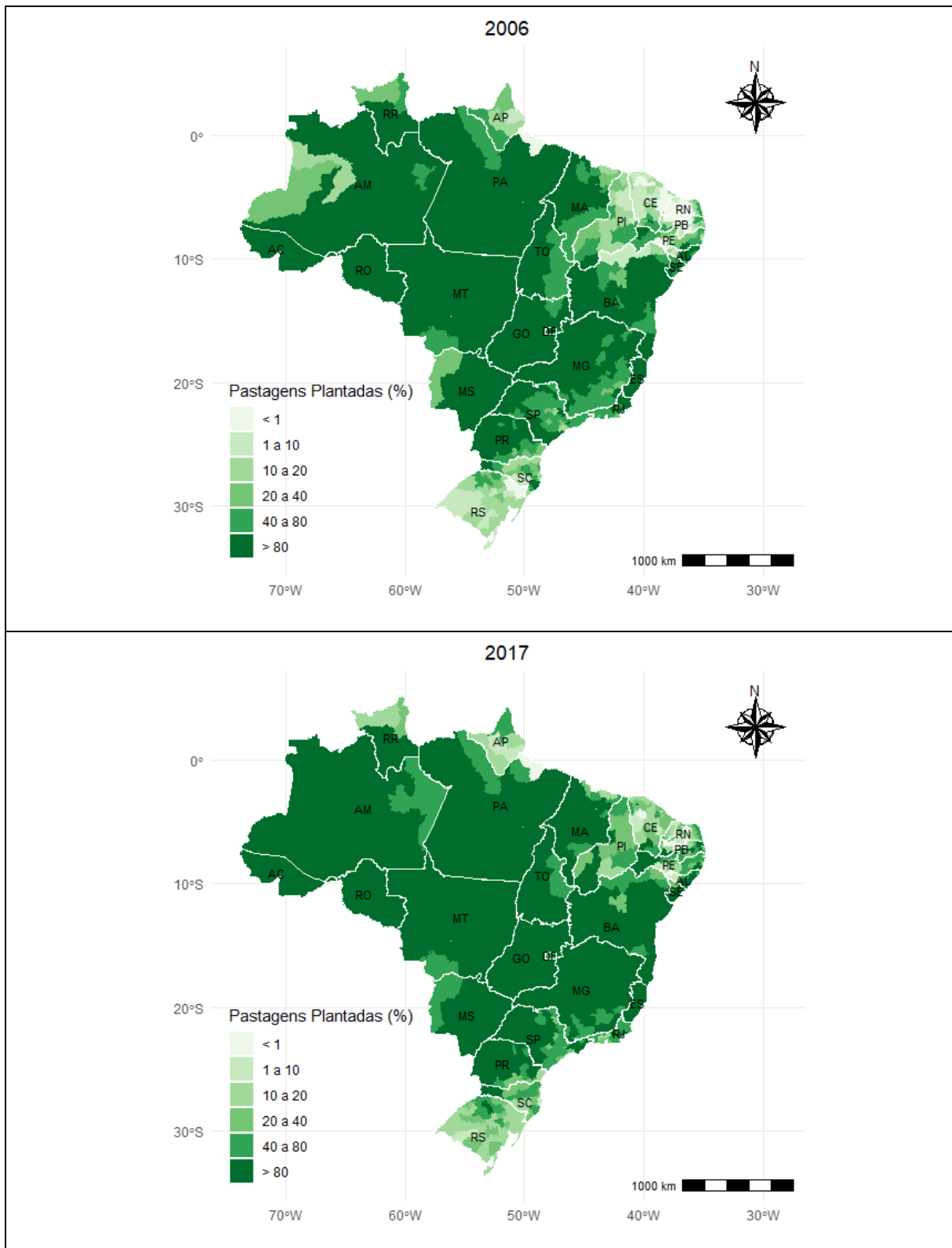


Figura 4.4 – Evolução da Pastagens Plantadas por Microrregiões – 2006/2017

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

É importante, contudo, ressaltar que as áreas de pastagens plantadas, por definição, compreendem a soma das áreas de pastagens plantadas em boas condições e áreas de pastagens

plantadas degradadas. Considerando as pastagens em boas condições, segundo Tabela 4.8, registra-se um aumento em todas as regiões do país, exceto o Nordeste. A Região Norte revela aumento de 6,3 milhões de hectares, correspondentes a 40,0% a mais do que verificado em 2006, o que, mais uma vez, chama a atenção. Ao se analisar as outras Regiões, verifica-se que houve um aumento de 2,2 milhões de hectares (ou 18,9%) na Região Sudeste. Já o Sul apresentou aumento de 522 mil hectares (ou 16,9%) e o Centro-Oeste, com variação pequena de 77 mil hectares (ou 0,2%).

Tabela 4.8 – Pastagens em Boas Condições por Classe de Atividade (Propriedades com Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017

Brasil e Grande Região	2006	2017	Varição Percentual (2006-2017)
Brasil	77.381.652	86.420.082	11,7%
Norte	15.942.542	22.317.490	40,0%
Nordeste	9.234.520	9.092.973	-1,5%
Sudeste	11.665.310	13.870.427	18,9%
Sul	3.099.940	3.622.695	16,9%
Centro-Oeste	37.439.339	37.516.495	0,2%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

Em relação as áreas de pastagens plantadas degradadas, nota-se que as regiões mostraram grande variabilidade em termos de tendências de evolução no período (Tabela 4.9). Em primeiro lugar, destaca-se o Nordeste com um aumento de 1,2 milhão de hectares, o que, corresponde a 81,7% a mais do que observado no período anterior. Em seguida, o Sudeste com aumento de 588 mil hectares o que equivale a um acréscimo de 47,9% em pastagens degradadas na região. Por outro lado, nas demais regiões, observou-se redução nas áreas degradadas, de 142 mil hectares (ou 49,1%) na Região Sul e de 405 mil hectares (14,1%) na região Centro-Oeste, em relação ao ano de 2006.

Tabela 4.9 – Pastagens Degradadas por Classe de Atividade (Propriedades com Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017

Brasil e Grande Região	2006	2017	Varição Percentual (2006-2017)
Brasil	7.689.629	8.927.199	16,1%
Norte	1.783.433	1.754.677	-1,6%
Nordeste	1.501.087	2.726.821	81,7%
Sudeste	1.230.299	1.819.076	47,9%
Sul	290.472	147.715	-49,1%
Centro-Oeste	2.884.338	2.478.910	-14,1%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

As áreas de pastagens degradadas representavam, aproximadamente, 6,8% das áreas dos estabelecimentos agropecuários direcionados para a criação de bovinos, entre 2006 e 2017. Dentre todas as áreas declaradas como degradadas, em 2006, aproximadamente, 80 microrregiões (ou 14,3%) apresentavam um nível de degradação acima de 10%. Já em 2007, foram 142 microrregiões (ou 25,5%) acima de 10%. Portanto, um crescimento de 77,5% em termos relativos (Figura 4.5).

Sobre este aspecto, entre os dois períodos analisados, o Norte de Minas Gerais e o estado da Bahia se destacam em relação ao conjunto de pastagens degradadas. Particularmente, destacam-se as microrregiões localizadas no Centro-Sul Mato-grossense, Vale São-Franciscano da Bahia, Centro Sul Baiano, Sul Baiano, Jaguaribe, Centro Amazonense, Metropolitana de Belém, Sudeste Paraense, Sul de Roraima e Itapetininga.

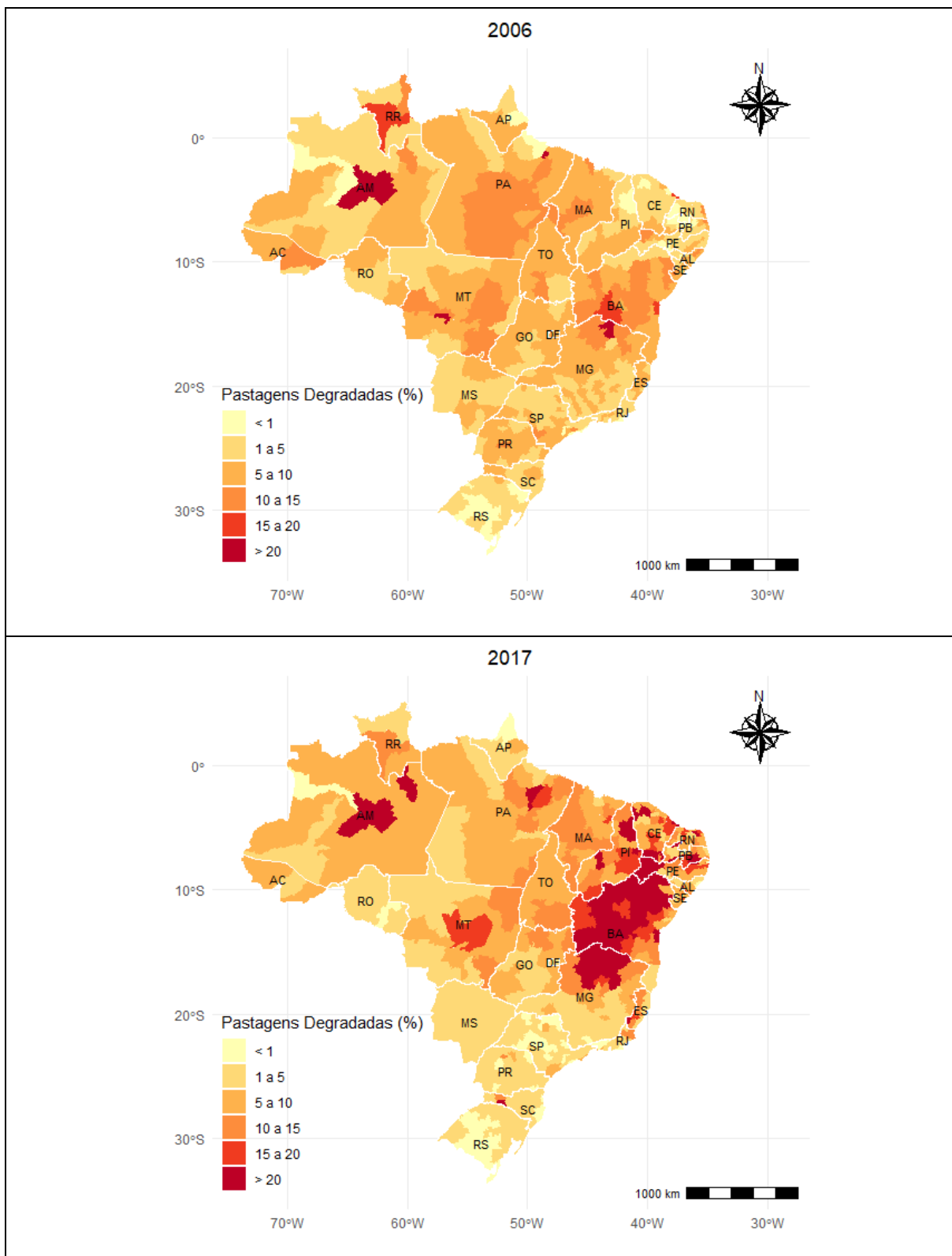


Figura 4.5 – Evolução das Pastagens Degradadas por Microrregiões – 2006/2017

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

Em 2006, dos 1.639.765 estabelecimentos agropecuários direcionados para a criação de bovinos, cerca de 6,9% informaram adotar sistemas agroflorestais (SAF). Já em 2017, com um crescimento no número de propriedades por volta de 3,2%, o último Censo Agropecuário 2017 contabilizou 1.692.588 propriedades, dos quais 10,4% ou 176.309 declararam adotar sistemas agroflorestais, isto é, áreas com espécies florestais usadas para lavouras e pastoreio de animais.

Nesse sentido, o Nordeste se destaca em relação ao restante dos estabelecimentos agropecuários que possuem o SAF. De acordo com a Tabela 4.10, o Nordeste não só possui a maior área com sistemas agroflorestais, com 4,1 milhões de hectares, como também registrou a segunda maior variação percentual entre 2006 e 2017, de 93,2%. A Região Centro-Oeste, vem em seguida, com um aumento de 582 mil hectares, uma variação de 104,7%. As áreas que adotam SAF na Região Norte representam 11,8% do total, e seu aumento foi de 38,6% em relação a 2006. As Regiões Sudeste e Sul apresentaram um aumento de 669 mil hectares e 331 mil hectares, ocasionando, respectivamente, variação de 15,9% e 49,5% nas áreas de SAF.

Tabela 4.10 – Sistemas Agroflorestais por Classe de Atividade (Criação de Bovinos) – Brasil e Grandes Regiões – 2006/2017

Brasil e Grande Região	2006	2017	Variação Percentual (2006-2017)
Brasil	4.111.610	7.133.226	73,5%
Norte	607.103	841.190	38,6%
Nordeste	2.149.047	4.152.410	93,2%
Sudeste	577.269	669.088	15,9%
Sul	221.829	331.586	49,5%
Centro-Oeste	556.361	1.138.951	104,7%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

Em seguida, a Figura 4.6 ilustra a evolução dos sistemas agroflorestais por microrregiões. Em comparação entre os dois Censos, houve um aumento de áreas declaradas como SAF. Em 2006, os estabelecimentos que tinham uma área de SAF acima de 10% em relação a sua área de pastagem foram de 31% (ou 173 microrregiões). Da mesma forma, em 2017, eram 32,5% (ou 181 microrregiões) áreas de SAF acima de 10%. Portanto, houve um crescimento de, aproximadamente, 4,62% entre os dois períodos analisado.

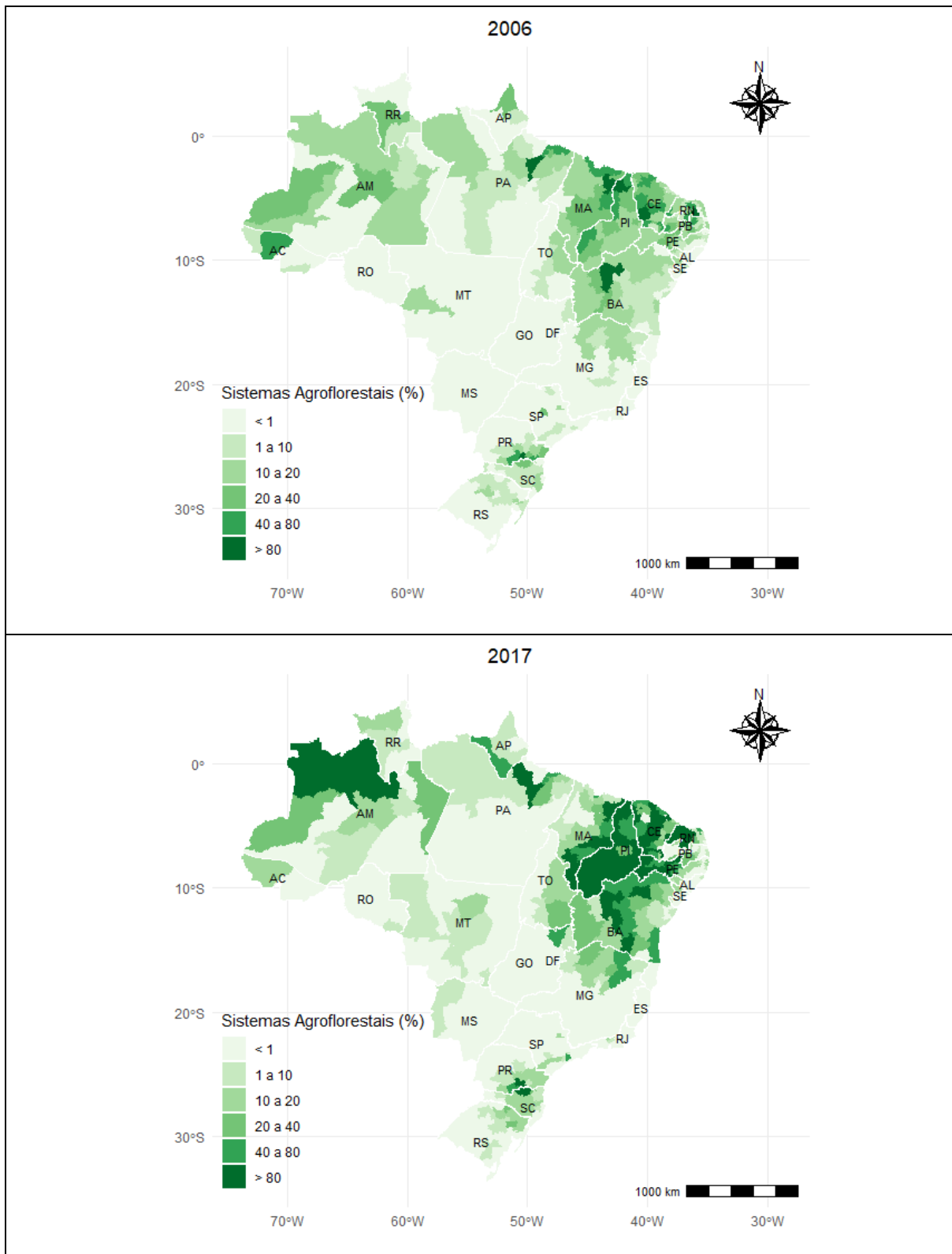


Figura 4.6 – Evolução do Sistema Agroflorestal por Microrregiões – 2006/2017

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

4.2 Fatores sobre práticas de sustentabilidade ambiental

A partir da análise fatorial de componentes principais, as 18 variáveis foram agregadas em fatores que, neste trabalho, estão sendo considerados aqueles que evidenciam aspectos relacionados à intensificação de sistemas produtivos mais sustentáveis e que permitem representar a adoção de tecnologias e boas práticas de sustentabilidade ambiental, conforme o referencial teórico de Cordeiro *et al.* (2015) e Chiari *et al.* (2021).

Segundo a Tabela 4,11, o primeiro fator (F_1) explicou 22,2% da variância total dos dados e está positivamente correlacionado com as variáveis X_1 , X_9 , X_{10} , X_{12} , X_{16} , X_{17} e X_{18} . Estas variáveis, expressam, respectivamente, taxa de lotação, áreas que adotam práticas agrícolas, número de estabelecimentos que realizaram despesas com sementes e mudas, número de estabelecimentos que receberam orientação técnica, número de estabelecimentos que realizaram despesas com energia elétrica, número de estabelecimentos com unidades armazenadoras e números de estabelecimentos que possuem máquinas e implementos agrícolas.

Nesse contexto, pode-se dizer que F_1 está medindo a intensidade de modernização da pecuária. Para Féres e Ferreira (2020), a intensificação do uso de pastagens é fundamental na agenda ambiental do setor, sobretudo em relação ao crescimento da taxa de lotação (X_1), para diminuir a pressão por novas áreas de exploração. Já a variável relacionada com práticas agrícolas (X_9), segundo Souza, Gomes e Alves (2020), representa eficiência e um aumento, indireto de renda. Essas práticas agrícolas e ambientais envolvem proteção e conservação de encostas, plantio em nível, rotação de culturas, preparação e descanso do solo.

De acordo com Vieira Filho, Gasques e Ransom (2020), despesas com sementes e mudas, energia elétrica, capacidade de armazéns, máquinas e implementos agrícolas são considerados como insumos tecnológicos, ou seja, representam as características das variáveis X_{10} , X_{12} , X_{16} , X_{17} e X_{18} , respectivamente. Para Landau *et al.* (2020), a produção e comercialização de sementes de forrageiras (X_{10}) em pastagens possui grande potencial para melhorar a produção e sustentabilidade da pecuária. Enquanto que a orientação técnica (X_{12}), segundo Peixoto (2021), indica que quanto mais orientação técnica é recebida, mais eficiente será o processo de divulgação e aplicação das inovações nas propriedades. Já a energia elétrica (X_{16}), unidades armazenadoras (X_{17}), máquinas e implementos agrícolas (X_{18}) são indicativos da incorporação de capital na produção (VIEIRA FILHO; GASQUES; RANSOM, 2020).

Desse modo, as características e os sinais positivos das variáveis apresentadas anteriormente, sugerem ser o F_1 um fator de medida intensivo em tecnologia na produção de bovinos e, também, voltado para estimular a redução das emissões de gases do efeito estufa

sem comprometer a produtividade e o crescimento da bovinocultura. Este primeiro fator (F₁) foi denominado de ‘Pecuária Moderna’.

Tabela 4.11 – Cargas Fatoriais e Comunalidades das Variáveis de Práticas de Sustentabilidade Ambiental – 2006

Variáveis	Fator 1 (F ₁)	Fator 2 (F ₂)	Fator 3 (F ₃)	Fator 4 (F ₄)	Fator 5 (F ₅)	Comunalidade (h ²)
X ₁	0,670	0,103	-0,260	0,298	-0,124	0,631
X ₂	0,058	0,082	-0,079	0,054	0,921	0,868
X ₃	-0,188	0,273	0,271	0,585	0,301	0,616
X ₄	0,041	0,017	-0,025	0,904	-0,039	0,822
X ₅	-0,196	0,001	0,873	0,093	-0,031	0,810
X ₆	-0,163	0,025	0,902	0,040	-0,035	0,843
X ₇	0,179	0,856	-0,064	0,105	-0,030	0,781
X ₈	0,095	0,887	0,027	0,058	0,116	0,813
X ₉	0,792	0,159	-0,056	-0,068	0,119	0,674
X ₁₀	0,694	0,405	-0,088	-0,109	-0,218	0,713
X ₁₁	0,014	-0,006	0,793	-0,012	-0,031	0,630
X ₁₂	0,599	0,553	-0,084	0,089	0,239	0,736
X ₁₃	0,348	0,563	0,642	-0,031	0,026	0,852
X ₁₄	0,479	0,575	0,441	-0,077	0,056	0,763
X ₁₅	0,424	0,619	0,400	0,171	-0,071	0,757
X ₁₆	0,724	-0,064	-0,031	-0,128	0,115	0,559
X ₁₇	0,644	0,265	0,108	-0,025	-0,235	0,553
X ₁₈	0,676	0,446	-0,035	0,094	0,237	0,722
Variância Explicada (%)	22,2	19,0	17,5	7,6	6,8	-
Variância Acumulada (%)	22,2	41,1	58,6	66,2	73,0	-

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 (IBGE).

Notas: (a) Teste de Bartlett = 6.021,29 e p-valor menor que 1%;

(b) Teste KMO = 0,86.

O segundo fator (F₂) explicou 19,0% da variância total dos dados e está positivo e fortemente correlacionado com as variáveis X₇ e X₈, que expressam o número de estabelecimentos com nascentes protegidas por matas e, também, número de estabelecimentos com rios ou riachos protegidos por matas. Já as variáveis X₁₂, X₁₃, X₁₄ e X₁₅, encontram-se positivas e correlacionadas com o segundo fator e denotam, respectivamente, números de estabelecimentos que receberam orientação técnica, realizaram controle de doenças e/ou parasitas nos animais, despesas com medicamentos e despesas com sal, ração e outros suplementos.

Nesse caso, pode-se dizer que F₂ está medindo o bem-estar e a sanidade animal. Segundo Winckler (2018), tanto os cuidados com os recursos hídricos (X₇ e X₈) como também a qualidade da água ofertada aos animais são importantes para a manutenção de bons índices

zootécnicos e qualidade do produto. Ainda segunda a autora, a qualidade da água oriunda de fontes naturais, como rios, lagos e nascentes pode apresentar sazonalidade. Por isso, o acesso direto dos animais as áreas de preservação permanente devem estar protegidas para evitar o pisoteio e a matéria orgânica dos animais, o que, pode prejudicar e comprometer a qualidade da água.

De acordo com Chiari *et al.* (2021), o controle de doenças e parasitas nos animais (X_{13}) e a suplementação mineral (X_{15}) são algumas das tecnologias empregadas na bovinocultura de corte, que otimizam o uso da terra e permitem o efeito poupa-terra. O avanço no controle de doenças de bovinos é uma das tecnologias mais importantes para o aumento de produtividade do rebanho, como por exemplo, o controle estratégico de helmintos (parasitas) que é capaz de aumentar o ganho de peso do animal. Além disso, o Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e da Tuberculose Animal (PNCEBNT) levou à redução de rebanhos infectados, o que, evitou perdas de toneladas de carcaças e um efeito-poupa terra de milhares de hectares.

Ainda de acordo com os autores, a suplementação mineral é uma tecnologia utilizada para suprir a carência nutricional dos pastos brasileiros, considerando o ciclo do nascimento até o abate. Ademais, a suplementação leva a um aumento na taxa de desmama, o que, favorece o abate de animais jovens e um aumento adicional de matrizes necessárias para suprir o número de abates de novilhos. Quanto à terminação intensiva a pasto, ela permite reduzir também o tempo de abate devido ao fornecimento de ração concentrada para os animais. Sendo assim, tanto a suplementação mineral como a terminação intensiva a pasto são capazes de exercer o efeito-poupa terra (CHIARI *et al.*, 2021).

Baiardi e Costa (2020) reforçam este ponto de vista em relação aos medicamentos (X_{14}), rações e suplementos (X_{15}) como insumos tecnológicos que também poupam terra. Já o recebimento de orientação técnica (X_{12}), para Reyna, Braga e Morais (2020), é visto como um dos fatores capazes de auxiliar os produtores a utilizarem os insumos de forma mais eficiente. Diante do contexto, as variáveis apresentadas, sugerem ser o F_2 um fator relacionado a um maior bem-estar animal e a sanidade de rebanhos que resultam no efeito poupa-terra. Este segundo fator (F_2) foi denominado de ‘Pecuária de Bem-Estar e Sanidade Animal’.

O terceiro fator (F_3) explicou 17,5% da variância total dos dados e está positivo e fortemente correlacionado com as variáveis X_5 e X_6 . Estas variáveis, expressam, respectivamente, áreas de matas e/ou florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal e áreas de matas e/ou florestas naturais. Ainda de acordo com o terceiro fator, as variáveis X_{11} e X_{13} estão positivamente correlacionadas e representam áreas com sistemas

agroflorestais e estabelecimentos que realizaram controle de doenças e/ou parasitas nos animais.

Desse modo, pode-se dizer que F_3 está medindo estratégias para intensificação sustentável do uso do solo na pecuária. Segundo Cordeiro *et al.* (2015), os sistemas de produção integrados com ou sem o componente florestal (X_{11}) possibilitam vantagens agronômicas, econômicas, sociais e ambientais. De acordo com Garret, Gil e Valentim (2019), tem se verificado, cada vez mais, a regeneração natural (X_6) e a introdução de matas nativas pelos produtores, bem como o cumprimento da legislação ambiental (X_5) em razão dos diversos benefícios gerados pelos sistemas de produção integrados.

Para Cordeiro *et al.* (2015), os sistemas de integração (X_{11}) proporcionam diversos benefícios, tais como: aumento de produtividade, aumento do estoque de carbono, redução da pressão por desmatamento por meio do efeito poupa-terra, redução da vulnerabilidade aos riscos climáticos, entre outros. Além disso, Cançado *et al.* (2019) esclarecem que a utilização dos sistemas integrados (X_{11}) pode afetar a epidemiologia das parasitoses (X_{13}) da bovinocultura de corte, pois a rotação de culturas favorece uma limpeza da pastagem em sucessão. Em outras palavras, a diversificação de outras culturas aumenta a diversidade biológica, o que, proporciona, o aparecimento de inimigos naturais dos parasitas. Este terceiro fator (F_3) foi denominado de ‘Pecuária Integrada’.

O quarto fator (F_4) explicou 7,6% da variância total dos dados e está positivamente correlacionado com a variável X_3 e positivo e fortemente correlacionado com a variável X_4 . Estas variáveis, denotam, respectivamente, áreas de pastagens em boas condições e percentual de áreas com pastagens em boas condições em relação às áreas de pastagens degradadas. Nesse caso, pode-se dizer que F_4 está medindo o melhoramento, manejo e recuperação de pastagens. De acordo com Landau *et al.* (2020), as pastagens são essenciais para a manutenção e crescimento do rebanho, além de apresentarem vantagens competitivas em razão do menor custo de produção em relação a outros países. Ainda segundo os autores, o país possui tecnologias bastante adaptadas aos atuais sistemas de produção, o que, auxilia no aumento da produção pecuária.

Dias-Filho e Lopes (2022) consideram que a profissionalização das técnicas de manejo das pastagens e do solo permitem um aumento da produção, sem exigir expansão das áreas de pastagens ou aumento das áreas degradadas na região. No que se refere à recuperação de pastagens, Oliveira Silva *et al.* (2017) apresentaram evidências sobre como a recuperação das áreas de pastagens pode aumentar o sequestro de carbono no solo e reduzir em até 85% as

emissões de gases de efeito estufa dos animais. Este quarto fator (F₄) foi denominado de ‘Pecuária Bem Manejada’.

O quinto fator (F₅) explicou 6,8% da variância total dos dados e está positivo e fortemente correlacionado com apenas a variável X₂, que expressa o número de cabeças vendidas de bovinos para cria, recria ou engorda. Segundo Machado *et al.* (2019), as fases mais lucrativas na pecuária de corte são a recria e engorda. Tendo em vista a intensificação da pecuária, as fases de recria e engorda são agrupadas por causa da redução da idade de abate dos animais. Já a fase da cria é adotada em solos com fertilidade limitada e exigem conhecimentos específicos devido à complexidade desta fase de produção. Em resumo, a proporção de animais na cria, recria e engorda varia de acordo com os preços praticados no mercado. Este quinto fator (F₅) foi denominado de ‘Pecuária de Ciclo Completo’.

Para o ano de 2017 (Tabela 4.12), o primeiro fator (F₁) explicou 19,1% da variância total dos dados e está positivamente correlacionado com as variáveis X₁, X₉, X₁₀, X₁₂, X₁₆ e X₁₈. A diferença deste primeiro fator, em relação a 2006, foi a não inclusão da variável X₁₇ devido ao baixo valor do seu escore (0,456). Ademais, as variáveis, expressam, respectivamente, taxa de lotação, áreas que adotam práticas agrícolas, número de estabelecimentos que realizaram despesas com sementes e mudas, receberam orientação técnica e realizaram despesas com energia elétrica e estabelecimentos que possuem máquinas e implementos agrícolas. Este primeiro fator (F₁) foi denominado de ‘Pecuária Moderna’.

Tabela 4.12 – Cargas Fatoriais e Comunalidades das Variáveis de Práticas de Sustentabilidade Ambiental – 2017

Variáveis	Fator 1 (F ₁)	Fator 2 (F ₂)	Fator 3 (F ₃)	Fator 4 (F ₄)	Comunalidade (h ²)
X ₁	0,636	-0,243	-0,233	0,180	0,550
X ₂	0,100	0,091	0,478	0,623	0,635
X ₃	-0,066	0,215	0,294	0,737	0,680
X ₄	0,147	-0,069	0,150	0,662	0,487
X ₅	-0,253	0,847	-0,029	0,039	0,783
X ₆	-0,148	0,861	-0,045	-0,009	0,765
X ₇	0,206	-0,191	0,778	0,220	0,732
X ₈	0,146	-0,112	0,790	0,245	0,717
X ₉	0,833	-0,090	0,090	0,225	0,761
X ₁₀	0,675	-0,022	0,281	-0,447	0,735
X ₁₁	-0,030	0,796	-0,089	0,057	0,646
X ₁₂	0,691	-0,203	0,462	0,140	0,752
X ₁₃	0,262	0,718	0,467	0,039	0,804
X ₁₄	0,246	0,495	0,596	0,228	0,713
X ₁₅	0,133	0,236	0,566	0,104	0,405
X ₁₆	0,592	0,294	0,181	-0,032	0,470

X ₁₇	0,456	0,010	0,308	-0,301	0,394
X ₁₈	0,720	-0,126	0,434	0,089	0,730
Variância Explicada (%)	19,1	17,9	17,4	10,8	-
Variância Acumulada (%)	19,1	37,1	54,5	65,3	-

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2017 (IBGE).

Notas: (a) Teste de Bartlett = 5.284,17 e p-valor menor que 1%;

(b) Teste KMO = 0,84.

O segundo fator (F₂) explicou 17,9% da variância total dos dados e foi denominado de ‘Pecuária Integrada’. O fator está relacionado positivo e fortemente correlacionado com as variáveis X₅ e X₆, que expressam áreas de matas e/ou florestas naturais e áreas de matas e/ou florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal. Ainda de acordo com o segundo fator, as variáveis X₁₁ e X₁₃ estão positivamente correlacionadas e expressam áreas com sistemas agroflorestais e estabelecimentos que realizaram controle de doenças e/ou parasitas nos animais. Cabe ressaltar que as mesmas variáveis do segundo fator (F₂), em 2006, foram representadas pelo terceiro fator (F₃) em razão da variância total explicada ser maior em 2017.

O terceiro fator (F₃) explicou 17,4% da variância total dos dados e está positivo e fortemente correlacionado com as variáveis X₇ e X₈, que expressam o número de estabelecimentos com nascentes protegidas por matas e, também, número de estabelecimentos com rios ou riachos protegidos por matas. Já as variáveis X₁₄ e X₁₅, encontram-se positivas e correlacionadas com o terceiro fator e expressam, respectivamente, despesas com medicamentos e despesas com sal, ração e outros suplementos. Além disso, observa-se que o terceiro fator (F₃), não contém as variáveis X₁₂ e X₁₃, que foram representadas em 2006. Por essa razão, o terceiro fator (F₃) foi denominado de ‘Pecuária de Bem-Estar’.

Por fim, o quarto fator (F₄) explicou 10,8% da variância total dos dados e está positivamente correlacionado com as variáveis X₂, X₃ e X₄. Estas variáveis, denotam, respectivamente, o número de cabeças vendidas de bovinos para cria, recria ou engorda, áreas de pastagens em boas condições e percentual de áreas com pastagens em boas condições em relação às áreas de pastagens degradadas. A diferença deste quarto fator em relação ao período anterior, pode ser explicada, segundo Machado *et al.* (2019), pela concentração das fases de recria e engorda que busca reduzir o tempo de abate dos animais, tornando a atividade mais intensiva. Este quarto fator foi denominado de ‘Pecuária Intensiva’.

4.3 Intensificação da pecuária nas microrregiões brasileiras

O Índice de Intensificação da Pecuária (IIPC), referente aos anos de 2006 e 2017, mensura as variáveis fundamentais que buscam representar o emprego de tecnologias e adoção de boas práticas sustentáveis na pecuária de corte, baseadas na construção de variáveis segundo o referencial teórico (Quadro 3.1) e os efeitos que o índice exerce em relação as emissões *per capita* animal da pecuária de corte.

Ao analisar a Tabela 4.13, para a Região Norte, observa-se que três dos cinco maiores IIPC estão localizados nas microrregiões do estado de Rondônia (Ji-Paraná, Cacoal e Colorado do Oeste) e juntas possuem 6,3 milhões de cabeças de gado. Além disso, a microrregião Ji-Paraná (RO) não só possui o mais alto índice de intensificação como também um dos maiores rebanhos bovinos da Região Norte. Ao mesmo tempo, a emissão total da pecuária de corte na microrregião foi de 4,75 milhões de toneladas de gás carbônico equivalente (MtCO_{2e}) e a emissão *per capita* animal de 2,15 toneladas de gás carbônico equivalente (tCO_{2e}). É importante, contudo, ressaltar que as microrregiões Colorado do Oeste (RO) e Redenção (PA) apresentaram emissões *per capita* animal igual a 2,06 (tCO_{2e}), o que, segundo os resultados, sugerem que essas microrregiões são mais eficientes da região.

Tabela 4.13 – *Ranking* das 20 Principais Microrregiões para o IIPC – Grandes Regiões – 2006

Microrregião	IIPC	Bovinos (Cabeças)	Emissão total (MtCO _{2e})	Emissão <i>per capita</i> animal (tCO _{2e})
Norte				
Ji-Paraná (RO)	100,00	2.212.729	4,75	2,15
Cacoal (RO)	97,86	1.627.285	3,57	2,19
Colorado do Oeste (RO)	97,66	719.037	1,48	2,06
Redenção (PA)	96,62	1.678.470	3,45	2,06
Gurupi (TO)	95,51	894.597	1,99	2,23
Nordeste				
Médio Jaguaribe (CE)	100,00	90.494	0,16	1,73
Seridó Ocidental (RN)	99,86	80.458	0,10	1,27
Seridó Oriental (RN)	97,56	77.977	0,11	1,38
Catolé do Rocha (PB)	95,93	93.276	0,09	0,97
Sousa (PB)	94,82	139.371	0,14	0,99
Sudeste				
Lavras (MG)	100,00	112.282	0,20	1,77
São João Del Rei (MG)	97,11	162.156	0,20	1,24
Ituiutaba (MG)	96,50	678.006	1,10	1,62
Bom Despacho (MG)	96,04	410.532	0,65	1,59
Pará de Minas (MG)	95,52	98.094	0,16	1,66
Sul				
Concórdia (SC)	100,00	214.738	0,32	1,48

São Miguel do Oeste (SC)	97,31	397.598	0,53	1,34
Francisco Beltrão (PR)	94,17	462.995	0,75	1,63
Chapecó (SC)	93,37	521.816	0,62	1,19
Pato Branco (PR)	91,40	207.025	0,36	1,72
Centro-Oeste				
Paranaíba (MS)	100,00	1.275.364	2,98	2,34
Cassilândia (MS)	93,59	776.233	1,70	2,19
Alto Taquari (MS)	92,52	2.430.166	5,46	2,25
Três Lagoas (MS)	92,29	3.756.539	7,91	2,11
Pires do Rio (GO)	90,30	518.859	0,93	1,79

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 (IBGE) e Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (Observatório do Clima).

Na Região Nordeste, verifica-se que os cinco maiores IIPC estão localizados nas microrregiões dos estados do Ceará (Médio Jaguaribe), Rio Grande do Norte (Seridó Ocidental e Seridó Oriental) e Paraíba (Catolé do Rocha e Sousa). Os três estados, juntos, foram responsáveis por um plantel de 485 mil cabeças de gado. Além disso, as cinco principais microrregiões do Nordeste apresentaram, na média, menor participação nas emissões totais e *per capita* em comparação com as demais regiões.

No Sudeste, os cinco maiores IIPC são microrregiões mineiras com 1,4 milhão de cabeças de gado. Cabe destacar que São João Del Rei possui a menor emissão total (0,20 milhões de toneladas de gás carbônico equivalente) e, também, a menor emissão *per capita* animal (1,24 toneladas de gás carbônico equivalente) entre as cinco microrregiões. Para o Sul do país, observa-se que Concórdia (SC) possui o maior IIPC, seguido por São Miguel do Oeste (SC) e Francisco Beltrão (PR). A quantidade de bovinos nessas microrregiões, ultrapassou 1,8 milhão de cabeças. Em relação ao Centro-Oeste, os maiores IIPC estão localizados nas microrregiões da Paranaíba (MS), Cassilândia (MS), Alto Taquari (MS), Três Lagoas (MS) e Pires do Rio (GO), respectivamente. Além disso, juntas, essas cinco microrregiões possuem um rebanho de 8,7 milhões de cabeças (ou 5% do rebanho nacional).

A Tabela 4.14 apresenta as microrregiões com os maiores IIPC para 2017. A microrregião Colorado do Oeste (RO) obteve o primeiro lugar, ao registrar a quantidade de 863 mil cabeças de gado, 20,0% maior que o período anterior. Cabe ainda ressaltar, nessa primeira análise, uma redução de 4,36% nas emissões *per capita* animal, em um ano marcado pelo aumento do plantel bovino da microrregião Colorado do Oeste (RO).

Por outro lado, observa-se o raciocínio inverso com a microrregião Ji-Paraná (RO), ao apresentar um IIPC de 98,33, redução de 1,67% em relação ao período anterior. Além disso, observa-se, também, aumento de 10,2% nas emissões *per capita* animal ao mesmo que o rebanho bovino aumentou 0,41%. Estes resultados, inicialmente, sugerem que quanto maior a

intensificação da pecuária de corte, menor é a emissão *per capita* animal. Em outras palavras, quanto menor a intensificação da pecuária de corte, maior é a emissão *per capita* animal. Logo, a adoção de práticas sustentáveis pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Tabela 4.14 – *Ranking* das 20 Principais Microrregiões para o IIPC – Grandes Regiões – 2017

Microrregião	IIPC	Bovinos (Cabeças)	Emissão total (MtCO ₂ e)	Emissão <i>per capita</i> animal (tCO ₂ e)
Norte				
Colorado do Oeste (RO)	100,00	863.514	1,70	1,97
Ji-Paraná (RO)	98,33	2.221.903	5,27	2,37
Guajará-Mirim (RO)	91,14	547.963	1,40	2,56
Alvorada D'Oeste (RO)	89,98	678.311	1,68	2,48
Gurupi (TO)	89,94	855.366	1,97	2,30
Nordeste				
Seridó Ocidental (RN)	100,00	71.227	0,11	1,60
Médio Jaguaribe (CE)	97,68	84.495	0,13	1,56
Seridó Oriental (RN)	96,79	56.839	0,08	1,48
Umarizal (RN)	96,76	28.555	0,05	1,70
Catolé do Rocha (PB)	96,60	70.360	0,09	1,31
Sudeste				
Presidente Prudente (SP)	100,00	1.237.670	2,68	2,17
Lins (SP)	99,77	172.795	0,40	2,30
Marília (SP)	99,12	361.078	0,73	2,03
Frutal (MG)	97,08	1.161.411	2,14	1,84
Fernandópolis (SP)	96,69	195.940	0,36	1,85
Sul				
São Miguel do Oeste (SC)	100,00	501.055	0,68	1,36
Concórdia (SC)	98,76	259.080	0,37	1,43
Guaporé (RS)	89,11	151.369	0,25	1,68
Chapecó (SC)	89,07	601.387	0,90	1,49
Cerro Largo (RS)	87,40	165.488	0,28	1,70
Centro-Oeste				
Paranaíba (MS)	100,00	1.228.417	2,73	2,22
Alto Taquari (MS)	98,09	2.549.251	6,07	2,38
Nova Andradina (MS)	97,07	1.023.896	2,23	2,18
Cassilândia (MS)	96,77	869.073	1,80	2,07
Três Lagoas (MS)	95,06	3.078.988	6,41	2,08

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 (IBGE) e Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (Observatório do Clima).

Em relação ao Centro-Oeste, as microrregiões de Paranaíba (MS) e Três Lagoas (MS), ambas possuem 4,3 milhões de cabeças, ou seja, um dos maiores rebanhos de gado do país. A primeira microrregião manteve a liderança em termos de IIPC, ao contabilizar 1,2 milhão de cabeças, redução de 3,7% em relação a 2006. No entanto, no mesmo período, obteve uma

redução de 5,1% nas emissões *per capita* animal. Do mesmo modo, verificou-se na microrregião de Três Lagoas (MS), uma redução de 677 mil cabeças de bovinos (ou -18%). O IIPC registrou alta de 3% e apresentou uma emissão *per capita* animal de 2,08 (tCO₂e), redução de 1,4% em relação ao ano anterior.

Na Figura 4.7, encontram-se informações sobre a distribuição espacial dos Índices de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC), entre 2006 e 2017. No geral, observa-se que microrregiões com um IIPC alto são vizinhas de outras microrregiões com o IIPC também alto. Da mesma forma, microrregiões com IIPC baixo são vizinhas de outras microrregiões com IIPC também baixo.

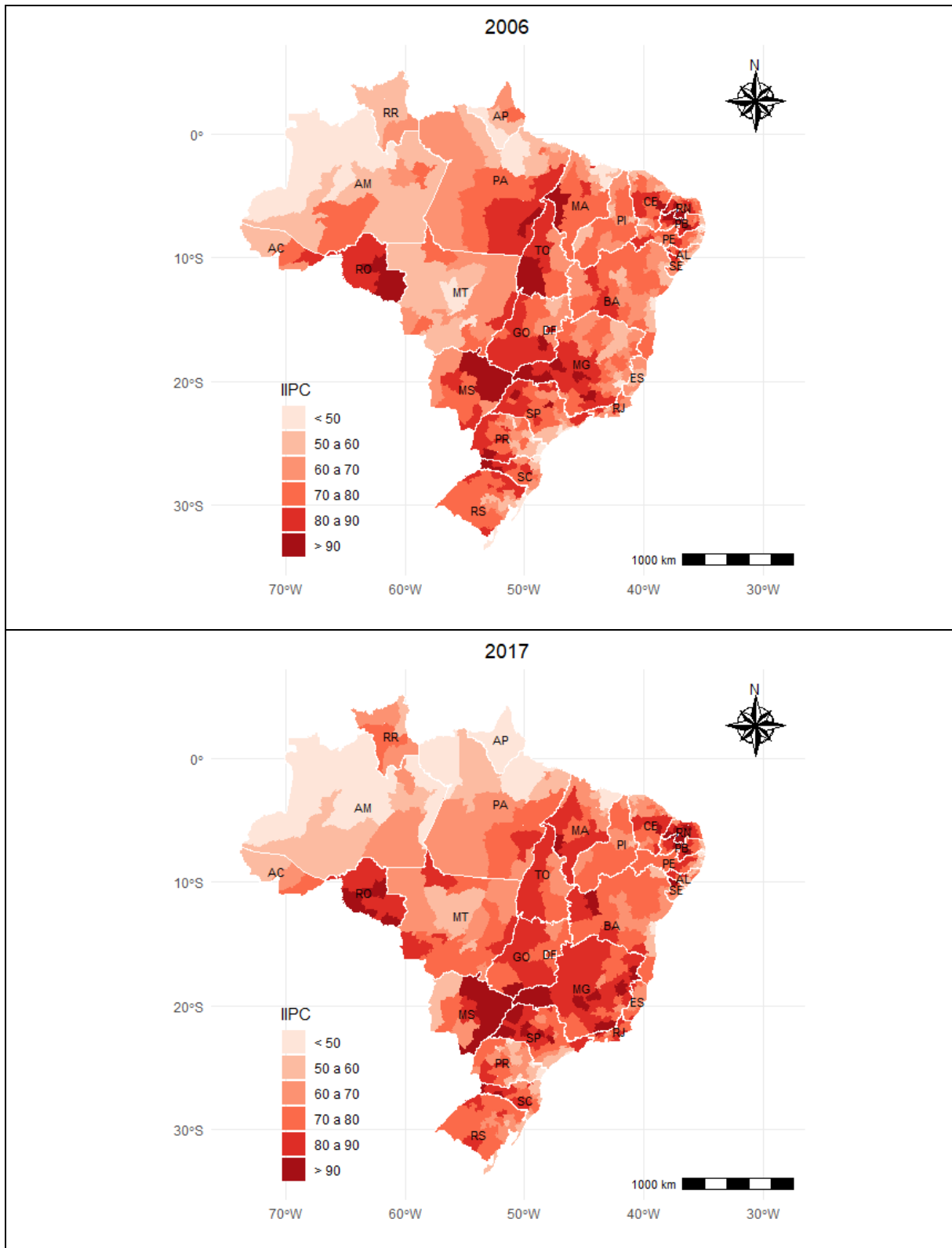


Figura 4.7 – Evolução do Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC) por Microrregiões – 2006/2017
 Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017.

Nesse contexto, é possível identificar o efeito transbordamento entre a formação desses *clusters*, ou seja, quando se tem um aglomerado formado por microrregiões com o índice de intensificação acima da média (alto), em um segundo momento, podem ocorrer efeitos positivos

entre as microrregiões vizinhas, provocando o transbordamento de tecnologias e práticas de produção, tais como: melhoramento genético, manejo e recuperação de áreas com pastagens degradadas, suplementação a pasto e confinamento, controle de doenças e a adoção de sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta (ILPF).

4.4 Análise espacial da intensificação da pecuária brasileira

A análise exploratória de dados espaciais foi adotada para estudar o comportamento do Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC) e também verificar a existência de um padrão local, entre o IIPC e as emissões *per capita* animal da pecuária bovina de corte, a nível de microrregiões, nos períodos de 2006 e 2017.

Na Figura 4.8, encontram-se informações sobre o diagrama de dispersão de Moran e mapa de *clusters* LISA para as regiões estatisticamente significativas do IIPC. Nos dois períodos, os coeficientes *I* de Moran global apresentam autocorrelação positiva de 0,550 e 0,625, respectivamente. Portanto, microrregiões com o índice de intensificação acima da média são vizinhas de microrregiões com índice de intensificação também acima da média (elevado). Por outro lado, microrregiões com o índice de intensificação abaixo da média são vizinhas de microrregiões com índice de intensificação também abaixo da média (baixo).

O primeiro quadrante do diagrama, Alto-Alto (AA), significa que as microrregiões exibem valores altos do IIPC e são rodeadas por microrregiões que mostram valores também altos. Já o segundo quadrante, Baixo-Alto (BA), apresenta um grupo de microrregiões com baixo IIPC e que são rodeadas por regiões vizinhas com alto IIPC. O quadrante Baixo-Baixo (BB) do diagrama mostra microrregiões com baixos valores do IIPC e que são circundadas também por microrregiões com baixos valores do IIPC. Este é representado no terceiro quadrante. Por fim, o quarto quadrante, Alto-Baixo (AB), refere-se a um grupo de microrregiões que apresenta valores altos do IIPC e que são rodeadas por microrregiões vizinhas com baixos valores do IIPC.

Para 2006, o diagrama mostra que 14% ou 78 microrregiões, estatisticamente significantes, estão agrupadas no primeiro quadrante. Já no mapa LISA essas microrregiões estão expressas em cinco grandes e três pequenos *clusters* do tipo AA (em vermelho). O primeiro envolve, praticamente, todas as microrregiões do estado de Rondônia com exceção da microrregião de Vilhena. De acordo com a seção anterior, é uma região caracterizada por um número relevante de cabeças de gado e que possui um dos maiores índices de intensificação da Região Norte (Tabela 4.17).

Pfeifer *et al.* (2021) destacam que a pecuária bovina rondoniense tem contribuído para a expansão do agronegócio, atraindo investidores e gerando emprego e renda para a população. Os autores ainda destacam que os pecuaristas têm sido desafiados a buscar uma maior intensificação dos sistemas, bem como garantir a sustentabilidade ambiental e bem-estar animal às exigências de um mercado cada vez mais competitivo.

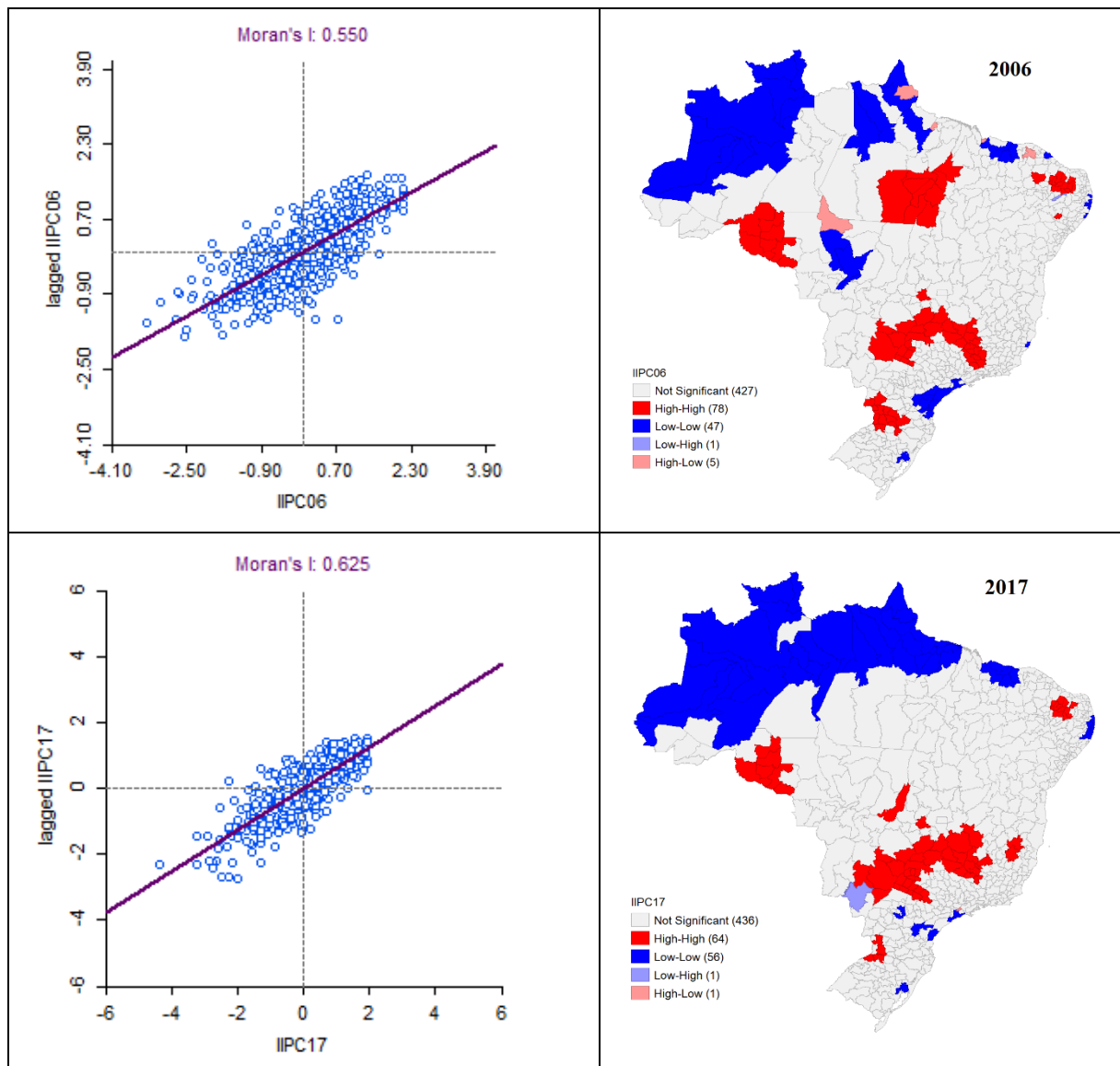


Figura 4.8 – Diagrama de Moran Univariado e Mapa de *Clusters* LISA para o Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC) por Microrregiões – 2006/2017

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).

Notas: (a) A matriz de ponderação espacial utilizada foi a rainha (*queen*) para seis vizinhos.

(b) Pseudo-significância empírica baseada em 999 permutações aleatórias; $p \leq 0,01$.

O outro agrupamento de *clusters* é composto por nove microrregiões situadas no Sudeste Paraense, Oeste Maranhense e região Ocidental do Tocantins (São Félix do Xingu, Parauapebas, Marabá, Redenção, Conceição do Araguaia, Imperatriz, Bico do Papagaio e Araguaína). Trata-se de uma pecuária de corte com grande heterogeneidade tecnológica e que,

a partir de 2004, houve um crescimento do rebanho em conjunto com um aumento de produtividade conquistado pela recuperação de pastagens degradadas (REBELLO; HOMMA, 2009; COSTA *et al.*, 2017).

Já na região Nordeste verificam-se três *clusters* do tipo AA, sendo dois pequenos e um grande, localizados no Sertão Paraibano, Borborema, Oeste e Central Potiguar. Segundo Rangel *et al.* (2015), a pecuária bovina da região está espalhada nas diversas sub-regiões, principalmente na Zona da Mata e no Agreste, apresentando a pastagem como principal fonte de alimento. Nesse sentido, alguns locais possuem, há algum tempo, práticas mais simples de integração (ILPF) visando a recuperação das pastagens degradadas e trazendo um melhor aproveitamento das áreas ocupadas.

As regiões Centro-Oeste e Sudeste, também, apresentam *clusters* do tipo AA. Na primeira região, encontram-se microrregiões situadas no Centro e Sul Goiano (Anápolis, Meia Ponte, Catalão e Quirinópolis) e no Leste de Mato Grosso do Sul (Cassilândia, Paranaíba e Três Lagoas). Na segunda região, mais precisamente no estado de Minas Gerais, observa-se microrregiões localizadas no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Central Mineira, Metropolitana de Belo Horizonte, Campo das Vertentes, regiões do Oeste, Sul e Sudoeste de Minas. Por último, no estado de São Paulo, as microrregiões situadas em São José do Rio Preto, Araçatuba, Marília e Presidente Prudente.

Carvalho *et al.* (2014) esclarecem que o bioma Cerrado não só abrange grande parte do território brasileiro como também está em processo contínuo de mudança de uso da terra, principalmente, pela conversão de terras em pastagens e agricultura. Nesse sentido, a implantação de sistemas eficientes de uso e manejo do solo são essenciais para a produção sustentável sem a necessidade de desmatamento.

Por fim, observa-se outro conjunto de *clusters* do tipo AA na região Sul. Estes, estão localizados no Oeste, Sudeste e Centro-Sul Paranaense (Cascavel, Foz do Iguaçu, Capanema, Francisco Beltrão, Pato Branco e Palmas). Ademais, verificam-se o restante dos *clusters* no Oeste Catarinense (São Miguel do Oeste, Chapecó, Xanxerê, Joaçaba e Concórdia) e Noroeste Rio-grandense (Frederico Westphalen e Sananduva).

O segundo padrão mais observado são os *clusters* do tipo Baixo-Baixo (BB) para o Índice de Intensificação da Pecuária de Corte. No diagrama apresentado, observa-se que 8% ou 47 das microrregiões, estatisticamente significantes, estão agrupadas no terceiro quadrante, ou seja, microrregiões que apresentam baixos valores do índice de intensificação são vizinhas de microrregiões que também apresentam baixos valores de IIPC.

Ainda na Figura 4.8, observa-se a formação de três grandes *clusters* do tipo BB, no mapa LISA, localizados na Região Norte. O primeiro encontra-se localizado no Norte e Sul de Roraima (Boa Vista, Nordeste de Roraima, Caracaraí e Sudeste de Roraima), Norte, Sudoeste e Centro Amazonense (Rio Negro, Japurá, Alto Solimões, Juruá, Tefé e Coari). O segundo e o terceiro *clusters* estão localizados no Norte e Sul do Amapá, Baixo Amazonas, Marajó e Nordeste Paraense (Oiapoque, Macapá, Santarém, Almeirim, Furos de Breves e Cametá).

Já os demais *clusters*, do tipo BB, estão localizados na Região Nordeste (Norte e Leste Maranhense, Mata Paraibana, Mata Pernambucana, Metropolitana de Recife e Norte Piauiense), Sudeste (Central Espírito-santense, Itapetinga, Metropolitana de São Paulo, Litoral Sul Paulista) e Região Sul (Centro Oriental Paranaense, Metropolitana de Curitiba, Metropolitana de Porto Alegre e Norte Catarinense).

As microrregiões localizadas no Norte Mato-grossense (Alta Floresta), Noroeste Cearense (Sobral), Norte Maranhense (Aglomeración Urbana de São Luís), Norte do Amapá (Amapá) e Metropolitana de Belém (Belém) estão assinaladas como um *cluster* do tipo Alto-Baixo (AB), pois apresenta um elevado IIPC e estão circundadas por microrregiões com baixo valor do IIPC. Por fim, apenas a microrregião Serra do Teixeira está assinalada como um *cluster* do tipo Alto-Baixo (AB), ou seja, apresenta um baixo IIPC e ao mesmo tempo está localizada por uma vizinhança com altos valores do IIPC.

Em 2017, o diagrama de dispersão de Moran, também mostrou uma autocorrelação positiva de 0,625. Desse modo, microrregiões que apresentam um IIPC acima da média são circundadas por microrregiões com um IIPC também acima da média. De forma contrária, microrregiões com o IIPC abaixo da média são circundadas por microrregiões com o IIPC igualmente abaixo da média.

O primeiro quadrante do diagrama, Alto-Alto (AA), significa que as microrregiões exibem valores altos do IIPC e são rodeadas por microrregiões que mostram valores altos. Já o segundo quadrante, Baixo-Alto (BA), apresenta um grupo de microrregiões com baixo IIPC e que são rodeadas por regiões vizinhas com alto IIPC. O quadrante Baixo-Baixo (BB) do diagrama mostra microrregiões com baixos valores do IIPC e que são circundadas também por microrregiões com baixos valores do IIPC, representado no terceiro quadrante. Por fim, o quarto quadrante, Alto-Baixo (AB), refere-se a um grupo de microrregiões que apresenta valores altos do IIPC e que são rodeadas por microrregiões vizinhas com baixos valores do IIPC.

Em 2017, verifica-se que o coeficiente *I* de Moran global apresenta autocorrelação positiva (0,550) para o IIPC, apontando um mesmo perfil daquele registrado para 2006. Contudo, em relação ao mapa de *clusters*, houve uma redução de microrregiões do tipo AA nas

regiões do Leste Rondoniense, Sudoeste Paraense (microrregião de Altamira) e a inclusão de novas microrregiões no entorno do Triângulo Mineiro, São José do Rio Preto e Norte de Minas (Frutal, Jales, Fernandópolis, Pirapora e Sete Lagoas). Porém, não é possível afirmar que inexistente elevado nível de intensificação nas microrregiões declaradas como não significantes. O que se pode afirmar é apenas que não existe uma associação espacial estatisticamente significativa entre elas.

Já os *clusters* do tipo BB apresentam uma pequena mudança na distribuição espacial em microrregiões localizadas entre o Centro Amazonense, Norte do Amapá e Centro Oriental Paranaense. O mesmo ocorreu para *clusters* do tipo Baixo-Alto (BA) e Alto-Baixo (AB) com o aparecimento das microrregiões de Nova Andradina (MS) e Aimorés (MG), respectivamente.

Em relação ao mapa de *clusters* LISA, em 2017, nota-se que existem dois grandes *clusters* do tipo Alto-Alto (AA). O primeiro envolve nove microrregiões localizadas no Leste Rondoniense e Norte Mato-grossense (Porto Velho, Guajará-Mirim, Ariquemes, Ji-Paraná, Alvorada D'Oeste, Cacoal, Vilhena, Colorado do Oeste e Parecis). O outro agrupamento é composto por dez microrregiões situadas no Oeste e Sul Maranhense, Sudeste Paraense e Ocidental do Tocantins (Imperatriz, Porto Franco, Altamira, São Félix do Xingu, Parauapebas, Marabá, Redenção, Conceição do Araguaia, Bico do Papagaio e Araguaína).

Também, verificam-se três pequenos *clusters* do tipo AA localizados na Região Nordeste, ao redor do Sertão Paraibano e Oeste Potiguar, outro ao redor do Sul Goiano, Leste do Mato Grosso do Sul e Triângulo Mineiro e, por último, na região de São José do Rio Preto. O primeiro é caracterizado por uma pecuária bovina de corte pouco relevante em comparação as outras microrregiões.

Por outro lado, era esperado que surgissem *clusters* do tipo Baixo-Baixo (BB) com baixo IIPC e acompanhados por vizinhos que também apresentam baixo IIPC. Neste caso, os agrupamentos estão localizados no Norte e Centro Amazonense, Norte e Sul do Amapá, Norte e Leste Maranhense, Nordeste Paraense, Litoral Norte Espírito-santense, Litoral Sul Paulista, Sudeste Paranaense, Metropolitana de Curitiba, Norte Catarinense, Noroeste Rio-grandense e Centro Oriental Rio-grandense. Já as microrregiões assinaladas como agrupamento do tipo Alto-Baixo (AB), situadas no Norte do Pará e Norte e Centro Paranaense, apresentam elevado nível de intensificação e são vizinhas de *clusters* do tipo BB (abaixo da média).

Prosseguindo com a análise, a Figura 4.9 ilustra a existência de um padrão espacial global entre o Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC) e as emissões da pecuária bovina de corte num contexto bivariado. Nesse contexto, entre 2006 e 2017, os resultados da inferência indicam que há uma autocorrelação espacial negativa entre as variáveis de interesse

(IIPC e emissões), de 0,129 e 0,251, respectivamente. Ou seja, as microrregiões que apresentam um elevado IIPC tendem a estar rodeadas por microrregiões vizinhas com baixas emissões de GEE, do mesmo modo que microrregiões com baixo IIPC são vizinhas de microrregiões com altas emissões de GEE.

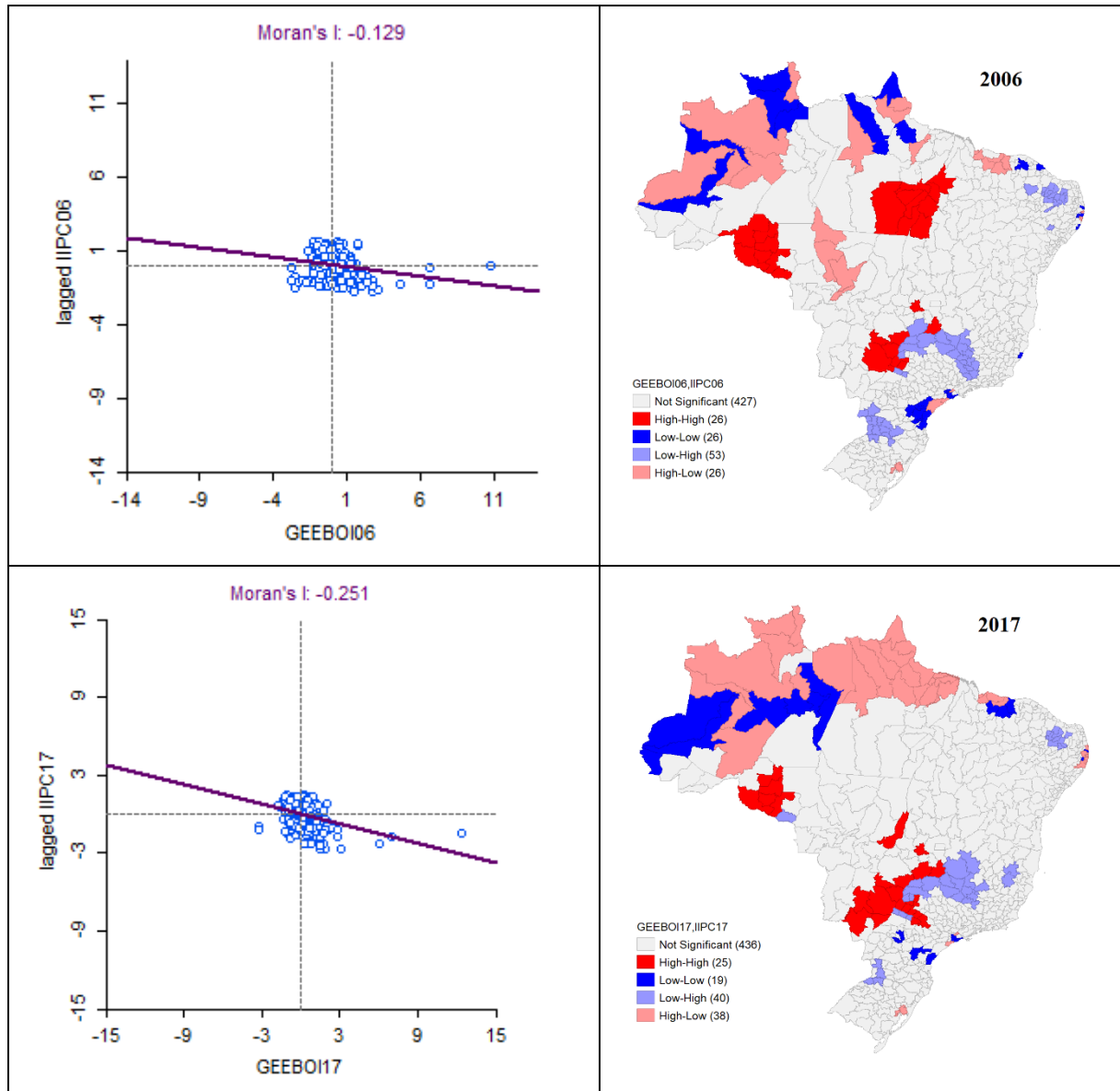


Figura 4.9 – Diagrama de Moran Bivariado e Mapa de *Clusters* BiLISA para o Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC) por Microrregiões – 2006/2017

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE) e Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (Observatório do Clima).

Notas: (a) A matriz de ponderação espacial utilizada foi a rainha (*queen*) para seis vizinhos.

(b) Pseudo-significância empírica baseada em 999 permutações aleatórias; $p \leq 0,01$.

Este resultado vai ao encontro do que era esperado pela literatura especializada, uma vez que Oliveira Silva *et al.* (2017), Resende *et al.* (2019), Congio *et al.* (2019), Oliveira *et al.* (2020), Ruggieri *et al.* (2020) e Pezzopane *et al.* (2021) apresentam estudos empíricos que

mostram uma relação inversa, entre emissões de GEE e práticas consideradas sustentáveis pelos autores. Dentre as práticas destacadas pelos autores, têm-se: recuperação de pastagens voltadas para uma intensificação sustentável, adoção de sistemas integrados que ajudam a neutralizar as emissões de CH₄ entérico, manejo estratégico de pastagens para reduzir a emissão de N₂O do solo, manejo do pasto para alcançar uma maior intensificação da propriedade à base de forrageiras, sistemas agroflorestais utilizados para a recuperação de pastagens e sequestro de carbono, respectivamente.

Ainda de acordo com a Figura 4.9, os dois mapas BiLISA apresentam a relação entre o índice de intensificação e as emissões *per capita* animal. Para 2006, o diagrama *I* de Moran mostra que 9,7% ou 54 microrregiões, estatisticamente significantes, estão agrupadas no segundo quadrante. Já no mapa BiLISA essas microrregiões estão expressas em três grandes *clusters* do tipo Baixo-Alto (azul claro). São microrregiões que apresentam um alto índice de intensificação ao mesmo tempo que são rodeadas por microrregiões com baixas emissões *per capita* animal. Ademais, as microrregiões estão localizadas, principalmente, no Sertão Paraibano, Oeste Potiguar, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Oeste, Sul e Sudoeste de Minas, São José do Rio Preto, Sudoeste Paranaense, Noroeste-Rio-grandense e Oeste Catarinense.

Também, verificam-se três grandes *clusters* do tipo Alto- Alto (AA) localizados no Leste Rondoniense, Sudeste Paraense, Leste de Mato Grosso do Sul e regiões por volta de São José do Rio Preto, Araçatuba e Bauru. São microrregiões que apresentam alto IIPC e são rodeadas por vizinhos que apresentam altas emissões *per capita* animal. Pode ser um indicativo de que essas microrregiões vizinhas precisam intensificar a adoção de práticas sustentáveis. Vale ressaltar ainda, que uma microrregião com um elevado IIPC não resulta, necessariamente, em uma pecuária bovina de corte com uma elevada tecnologia, mas apenas que o seu nível é superior em comparação as demais microrregiões da sua Grande Região.

Em 2017, o diagrama *I* de Moran mostra que 7,2% ou 40 microrregiões, estatisticamente significantes, estão agrupadas no segundo quadrante. Pelo mapa BiLISA, observa-se que a microrregião Colorado do Oeste (RO) e aquelas localizadas no Sertão Paraibano, Oeste Potiguar, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Oeste, Sul e Sudoeste de Minas, São José do Rio Preto, Sudoeste Paranaense, Noroeste-Rio-grandense e Oeste Catarinense estão agrupadas em *clusters* do tipo Baixo-Alto (BA). Portanto, são microrregiões que apresentam um alto IIPC e ao mesmo tempo estão circundadas por microrregiões com baixas emissões *per capita* animal.

Além disso, observa-se que existem três *clusters*, sendo dois grandes e um pequeno do tipo Alto-Alto (AA), ou seja, 4,4% ou 25 microrregiões. Em comparação ao período anterior, observa-se que as microrregiões localizadas no Sudoeste Paraense não foram estatisticamente significantes, diferente das microrregiões localizadas no Leste Rondoniense que foram estatisticamente significantes. Por outro lado, observa-se um aumento de microrregiões localizadas no Sudoeste de Mato Grosso do Sul, isto é, microrregiões com alto IIPC e circundadas por vizinhos com altas emissões *per capita* animal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A segurança alimentar e os cenários de mudanças climáticas trouxeram enormes desafios para a pecuária bovina de corte em relação as questões sociais, ambientais e econômicas. O setor, cujo sistema predominante ainda é a pecuária extensiva, é mencionado como grande gerador de impactos ambientais associados as emissões de gases do efeito estufa pelos animais e uso do solo. As principais fontes de emissão de GEE da pecuária de corte são a fermentação entérica, deposição de dejetos animais nos solos e o manejo inadequado das pastagens. Outra fonte de emissão é a substituição da cobertura florestal por áreas de pastagens.

Entre outras instituições, a criação da Embrapa no início dos anos 70 não apenas contribuiu para a modernização e organização da cadeia produtiva, como também possibilitou um aumento de produtividade, competitividade e qualidade da carne brasileira. Ao longo de décadas, vultosos investimentos foram aplicados em pesquisa, inovação e desenvolvimento de novas tecnologias, o que, acabou auxiliando o país a se tornar um dos maiores e mais importantes *players* no mercado de carne bovina do mundo.

A pecuária de corte possui grande potencial de mitigação e adaptação às mudanças climáticas por meio de tecnologias que buscam otimizar o uso da terra. Nos últimos anos, ocorreram avanços tanto no ambiente institucional (Plano ABC) como na intensificação de todo o setor, procurando atender um mercado consumidor cada vez mais exigente e preocupado com o meio ambiente. Os sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e a recuperação de pastagens degradadas são algumas das tecnologias que reduzem as emissões de GEE ao mesmo tempo que aumentam o sequestro de carbono na natureza. O uso e aperfeiçoamento dessas tecnologias levam também a um aumento substancial da produtividade, ou seja, produzir mais carne, mas o que deve ocorrer com menos recursos disponíveis. Em outras palavras, o efeito poupa-terra.

Nesse contexto, o presente trabalho buscou analisar se, na evolução da pecuária de corte, entre os Censos Agropecuários de 2006 e 2017, houve uma intensificação da produção sustentável e se esta impacta as emissões de gases de efeito estufa do setor nas microrregiões brasileiras. O trabalho também identificou variáveis, com base no referencial teórico, que foram associadas com a adoção de tecnologias e práticas de produção sustentáveis na pecuária bovina de corte.

Na análise descritiva dos dados acerca da evolução e distribuição espacial do rebanho bovino, uso da terra e das emissões *per capita* animal, observou-se, de modo geral em todo território, uma redução no rebanho bovino (-1,95%), entre 2006 e 2017. Ao mesmo tempo, houve um aumento no número e também nas áreas de propriedades com criação de bovinos de

3,2% e 2,1%, respectivamente. Em 2006, a produção de carne no país saiu de 6,8 milhões de toneladas para 7,6 milhões de toneladas em 2017, ou seja, um crescimento de 11,5%. Já em termos de produtividade animal, verificou-se um aumento de 9,7% entre os anos. No que diz respeito as mudanças no uso da terra, entre 2006 e 2017, verificou-se uma redução nas áreas de pastagens naturais (-15,6%) e um aumento de 12,0% nas áreas de pastagens plantadas, sendo 11,7% para áreas em boas condições e de 16,1% para áreas degradadas. É importante destacar o crescimento de 73,5% na adoção de sistemas agroflorestais nas propriedades com criação de bovinos. Por fim, as emissões de GEE da bovinocultura de corte passaram de 322,6 milhões de toneladas de gás carbônico equivalente (MtCO_{2e}) para 339,6 MtCO_{2e}, entre os anos, ou seja, um aumento de 5,27%.

Ao analisar a evolução e a distribuição espacial do Índices de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC), entre 2006 e 2017, observou-se que as microrregiões com o IIPC acima da média são vizinhas de microrregiões que também estão com o IIPC acima da média. Por outro lado, microrregiões com o IIPC abaixo da média são vizinhas de microrregiões que também possuem IIPC abaixo da média. Em 2006, de forma mais específica, verificou-se, a formação de *clusters* (AA) em praticamente todas as microrregiões do estado de Rondônia. Do mesmo modo, em 2017, verificou-se a existência de dois grandes *clusters* (AA), em microrregiões localizadas nas Regiões Norte e Centro-Oeste e diversos outros *clusters* (AA) distribuídos espacialmente no território.

Na sequência, analisaram-se padrões de associação espacial entre o IIPC e as emissões *per capita* animal da pecuária de corte. Entre 2006 e 2017, os resultados da inferência indicaram uma autocorrelação espacial negativa entre o IIPC e as emissões *per capita* animal. Logo, as microrregiões que apresentaram um elevado IIPC tendem a estar rodeadas por microrregiões vizinhas com baixas emissões *per capita* animal, do mesmo modo que microrregiões com baixo IIPC são vizinhas de microrregiões com altas emissões *per capita* animal. Estes resultados vão ao encontro do que era esperado pela hipótese e referencial teórico deste estudo, ou seja, que regiões que possuem uma maior intensificação tecnológica tendem a apresentar uma relação inversa com as emissões relativas de gases de efeito estufa.

Por fim, cabe destacar que existem outros fatores que podem contribuir para a intensificação sustentável da pecuária bovina de corte e que não foram abordados no presente estudo. É o caso do conjunto de dados que foram disponibilizados no Censo Agropecuário de 2006, mas não no de 2017, tais como: rotação de pastagens, adubação de pastagens confinamento de animais, finalidade das fases de produção da pecuária bovina, rastreamento de animais, inseminação artificial e transferência de embriões.

Uma limitação do estudo é a dificuldade de comparar um grupo de microrregiões com características e particularidades semelhantes, tendo em vista a heterogeneidade dos sistemas de produção da pecuária bovina de corte. Nesse sentido e para futuros trabalhos nesta mesma temática, o interessante seria fazer o uso da metodologia *Propensity Score Matching* (PSM). Outra sugestão, é procurar utilizar bases de dados criadas em estudos ou de experimentos controlados dentro das fazendas de pecuária de corte, em razão das características regionais e gestão de cada propriedade.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. *et al.* Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, p. 62-81, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.023>
- ALMEIDA, E. **Econometria espacial aplicada**. Campinas: Editora Alínea, 2012. 498 p.
- ALVES, F. V. *et al.* **Carbon Neutral Brazilian Beef: A New Concept for Sustainable Beef Production in the Tropics**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2017. Disponível em: <http://www.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/doc/DOC238.pdf>. Acesso em: 10 jan 2021.
- AMARAL, G.; CARVALHO, F.; CAPANEMA, L.; CARVALHO, C. A. Panorama da pecuária sustentável. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 36, p. 249-288, set. 2012. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1491>. Acesso em: 02 ago. 2020.
- ANSELIN, L. Local indicators of spatial association - LISA. **Geographical analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- ANSELIN, L.; SYABRI, I.; SMIRNOV, O. Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked windows. *In: Proceedings*, CSISS Workshop on New Tools for Spatial Data Analysis, Santa Barbara, CA. 2002.
- ARANGO, J. *et al.* Ambition meets reality: achieving GHG emission reduction targets in the livestock sector of Latin America. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 65, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00065>
- ASSAD, E. D. **Intensificação da pecuária brasileira: seus impactos no desmatamento evitado, na produção de carne e na redução de emissões de gases de efeito estufa**. São Paulo: FGV, 2016. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/17724>. Acesso em: 20 set. 2020.
- BAIARDI, A.; COSTA, E. M. Solução produtiva para o Nordeste. *In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*. Brasília: IPEA, IBGE, 2020. 410 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10339>. Acesso em: 01 dez. 2020.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília: Embrapa, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/923530/1/balbino01.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.
- BARBOSA, F. A. *et al.* **Cenários para a pecuária de corte amazônica**. Belo Horizonte: Ed. IGC/UFMG, 2015. 146 p.

BARRETO, P. **Políticas para desenvolver a pecuária na Amazônia sem desmatamento.** Amazônia 2030. 2021. 61 p. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/acervo/documentos/politicas-para-desenvolver-pecuaria-na-amazonia-sem-desmatamento>. Acesso em: 01 jun. 22.

BEAUCHEMIN, K. A. *et al.* Fifty years of research on rumen methanogenesis: Lessons learned and future challenges for mitigation. **Animal**, v. 14, n. S1, p. s2-s16, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>

BOWMAN, M. S.; SOARES-FILHO, B. S.; MERRY, F. D.; NEPSTAD, D. C.; RODRIGUES, H.; ALMEIDA, O. T. Persistence of cattle ranching in the Brazilian Amazon: a spatial analysis of rationale for beef production. **Land Use Policy**, v. 29, n. 3, p. 558-568, jul. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.09.009>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono).** Brasília, 2012. 173 p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>. Acesso em: 07 jul. 2020.

BUNGENSTAB, D. J. **Demandas tecnológicas dos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil: sustentabilidade ambiental.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/157209/1/Demandas-tecnologicas-Sustentabilidade-ambiental.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2021.

BUNGENSTAB, D. J. *et al.* **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta.** Brasília: Embrapa, 2019. 835p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1112571>. Acesso em: 01 dez. 2021

BUSTAMANTE, M. M. C.; NOBRE, C. A.; SMERALDI, R.; AGUIAR, A. P. D.; BARIONI, L. G.; FERREIRA, L. G.; LONGO, K.; MAY, P.; PINTO, A. S.; OMETTO, J. P. H. B. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. **Climate Change**, v. 115, p. 559-577, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0443-3>

CANÇADO, P. H. D. *et al.* Controle parasitário de bovinos de corte em sistemas de integração. *In: BUNGENSTAB, D. J. et al. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta.* Brasília: Embrapa, 2019. 835p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1112571>. Acesso em: 01 dez. 2021

CAPPER, J.; BAUMAN, D. E. The role of productivity in improving the environmental sustainability of ruminant production systems. **Annu. Rev. Anim. Biosci**, v. 1, n. 1, p. 469-489, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103727>

CARVALHO, J. L. N. *et al.* Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 183, p. 167-175, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.014>

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. 2019. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 01 jul. 2020.

CEZAR, I. M.; QUEIROZ, H. P.; THIAGO, L. R. L. S.; CASSALES, F. L. G.; COSTA, F. P. **Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2005. Disponível em: https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc_pdf/doc151.pdf. Acesso em: 07 jul. 2020.

CHIARI *et al.* Pecuária de corte – otimização do uso da terra e adoção da intensificação sustentável. *In*: TELHADO, S. F. P.; CAPDEVILLE, G. **Tecnologias poupa-terra 2021**. Brasília: Embrapa, 2021. 162 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1131517/tecnologias-poupa-terra-2021>. Acesso em: 10 jul. 2022.

CONGIO, G. F. S. *et al.* Strategic grazing management towards sustainable intensification at tropical pasture-based dairy systems. **Science of the total environment**, v. 636, p. 872-880, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.301>

CONGIO, G. F. S. *et al.* Strategic grazing management and nitrous oxide fluxes from pasture soils in tropical dairy systems. **Science of The Total Environment**, v. 676, p. 493-500, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.186>

CONGIO, G. F. S. *et al.* Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 312, p. 127693, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127693>

CORDEIRO, L. A. M. *et al.* Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciências & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 15-43, jan./ago. 2015.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa, 2015. 393 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Disponível em: <https://mais500p500r.sct.embrapa.br/view/pdfs/90000033-ebook-pdf.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2020.

COSTA, M. R. T. R. *et al.* **Atividade agropecuária no Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2017, 174 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1073940>. Acesso em: 02 jun 2022.

COSTA, D. F. A. *et al.* Strategic supplementation of growing cattle on tropical pastures improves nutrient use and animal performance, with fewer days required on the finishing phase. **Animal Production Science**, v. 61, n. 5, p. 480-493, 2020.

DE ZEN, S.; BARIONI, L. G.; BONATO, D. B. B.; ALMEIDA, M. H. S. P.; RITTL, T. F. **Pecuária de corte brasileira: impactos ambientais e emissões de gases efeito estufa (GEE)**. Piracicaba: Cepea/Esalq/USP, 2008. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/documentos/texto/pecuaria-de-corte-brasileira-impactos-ambientais-e-emissoes-de-gases-efeito-estufa-gee.aspx>. Acesso em: 02 ago. 2020.

DIAS, L. C. P. *et al.* Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. **Global change biology**, v. 22, n. 8, p. 2887-2903, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13314>

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. rev. atual. Belém: Ed. do Autor, 2011, 215 p.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

DIAS-FILHO, M. B. **Desafios e perspectivas na recuperação de pastagens degradadas na Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2015. 38 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1029214/1/DOC414.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

DIAS-FILHO, M. B. **Uso de pastagens para a produção de bovinos de corte no Brasil: passado, presente e futuro**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 42 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141771/1/DOCUMENTOS-418.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. S. Histórico e desafios da pecuária bovina na Amazônia. *In*: HOMMA, A. K. O. **Sinergias de mudança da agricultura amazônica: conflitos e oportunidades**. Brasília: Embrapa, 2022. 487 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1143078>. Acesso em: 20 jul. 2022.

EUCLIDES FILHO, K. **Produção de bovinos de corte e o trinômio genótipo-ambiente-mercado**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000. 61 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/323697/producao-de-bovinos-de-corte-e-o-trinomio-genotipo---ambiente---mercado>. Acesso em: 02 ago. 2020.

FASIABEN, M. C. R. *et al.* **Tipificação de municípios produtores de bovinos no Brasil**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/981008>. Acesso em: 02 set 20.

FASIABEN, M. C. R. *et al.* **Technological profile of beef cattle farms in Brazilian biomes.** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127930>. Acesso em: 15 mar 22.

FASIABEN, M. C. R. *et al.* Diferenciação e caracterização de municípios produtores de bovinos de corte no bioma Mata Atlântica segundo o Censo Agropecuário 2017. *In: Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agroinformática.* SBC, 2021. p. 80-89. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbiagro/article/view/18378>. Acesso em: 15 mar 22.

FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v. 8, n. 7, p. 201854, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.201854>

FÉRES, J. G.; FERREIRA, M. D. P. Sustentabilidade da agropecuária brasileira: o desafio da intensificação. *In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Orgs.). Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário.* Brasília: IPEA, IBGE, 2020. 410 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10339>. Acesso em: 01 dez. 2020.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira.** Brasília: Embrapa, 2012. 544 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1010247/1/LV2012forrageirasparaintegracaoFontaneli.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050.** Rome, 2018. 228 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Five practical actions towards low-carbon livestock.** Rome, 2019. 40 p. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca7089en/>. Acesso em: 02 jul. 2020.

GARRET, R. D.; GIL, J. D. B.; VALENTIM, J. F. Transferência de tecnologia: desafios e oportunidades para a adoção de ILPF na Amazônia Brasileira Legal. *In: BUNGENSTAB, D. J. et al. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta.* Brasília: Embrapa, 2019. 835p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1112571>. Acesso em: 01 dez. 2021

HERRERO, M. *et al.* Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 5, p. 452-461, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>

HOFFMANN, R. **Análise estatística de relações lineares e não lineares.** Piracicaba: O Autor, 2016. 246 p. DOI: <https://doi.org/10.11606/9788592105716>

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa da pecuária municipal**. 2016. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2016_v44_br.pdf. Acesso em: 12 out. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa da pecuária municipal**. 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=784>. Acesso em: 18 out. 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa trimestral do abate de animais**. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/abate/tabelas>. Acesso em: 18 out. 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/>. Acesso em: 04 jul. 2020.

LAHSEN, M.; MARCOVITCH, J.; HADDAD, E. Dimensões humanas e econômicas das mudanças climáticas. *In*: NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. (Orgs.). **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. São José dos Campos: INCT, 2017. p. 247-306. Disponível em: http://fmclimaticas.org.br/wp-content/uploads/2018/02/livro_mudancas_clinaticas_em_rede_ebook.pdf. Acesso em: 20 set. 2020.

LANDAU, E. C. *et al.* **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem animal e silvicultura**. Brasília: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1122549>. Acesso em: 15 jul. 2022.

LAPOLA, D. M.; MARTINELLI, L. A.; PERES, C. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERREIRA, M. E.; NOBRE, C.; AGUIAR, A. P.; BUSTAMANTE, M. M. C.; CARDOSO, M. F.; COSTA, M. H.; JOLY, C. A.; LEITE, C. C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; STRASSBURG, B. B. N.; VIEIRA, I. C. G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 27-35, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2056>

LATAWIEC, A. E. *et al.* Intensification of cattle ranching production systems: socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil. **Animal**, v. 8, n. 8, p. 1255-1263, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731114001566>

LI, C.; SALAS, W.; ZHANG, R.; KRAUTER, C.; ROTZ, A.; MITLOEHNER, F. Manure-DNDC: a biogeochemical process model for quantifying greenhouse gas and ammonia emissions from livestock manure systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 93, p. 163-200, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-012-9507-z>

LIMA, M. A.; PESSOA, M. C. P. Y.; NEVES, M. C.; CARVALHO, E. C. **Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais**. Brasília: MCT, 2010. 120 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/921485/1/2011MZ02.pdf>. Acesso em: 22 set. 2020.

MACHADO, L. A. Z. *et al.* Escolha de animais e formação de lotes de bovinos para sistemas de integração. *In: BUNGENSTAB, D. J. et al. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*. Brasília: Embrapa, 2019. 835p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1112571>. Acesso em: 01 dez. 2021

MALAFAIA, G. C. *et al.* A sustentabilidade na cadeia produtiva da pecuária de corte brasileira. 2019. *In: BUNGENSTAB, D. J. et al. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*. Brasília: Embrapa, 2019. 835p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1112571>. Acesso em: 01 dez. 2021.

MALAFAIA, G. C. *et al.* **O futuro da cadeia produtiva da carne bovina brasileira: uma visão para 2040**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1125194>. Acesso em: 02 jun. 2022.

MALAFAIA, G. C. *et al.* **Cadeia produtiva da carne bovina: contexto e desafios futuros**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/232238/1/DOC-291-Final-em-Alta.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.

MIRANDA, S. H. G. *et al.* **Estudo sobre abate não fiscalizado no setor da pecuária de corte na Região Amazônica**. 2019. Disponível em: <http://amigosdaterra.org.br/wp-content/uploads/2019/03/estudoabatenaofiscalizado.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2022.

MARGULIS, S.; MIRANDA, S. H. G. **Elaboração de estudos setoriais (energia elétrica, combustíveis, indústria e agropecuária) e proposição de opções de desenho de instrumentos de precificação de carbono**. 2018. Disponível em: <http://mediadrawer.gvces.com.br/pmr-brasil/original/relatorio-para-consulta-p4-agropecuaria.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2020.

MARTHA JUNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 110, p. 173-177, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.001>

MCMANUS, C.; BARCELLOS, J. O. J.; FORMENTON, B. K.; HERMUCHE, P. M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GIANEZINI, M.; DIAS, E. A.; LAMPERT, V. N.; ZAGO, D.; NETO, J. B. Dynamics of cattle production in Brazil. **Plos One**, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147138>

MELO FILHO, G. A.; QUEIROZ, H. P. (Ed.). **Gado de corte: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 261 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Disponível em: <https://mais500p500r.sct.embrapa.br/view/pdfs/90000017-ebook-pdf.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2020.

OBSERVATÓRIO ABC. **Impactos econômicos e ambientais do Plano ABC**. 2017. Disponível em: <http://observatorioabc.com.br/publicacoes>. Acesso em: 14 maio 2020.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). **Emissões por setor**. 2022. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/sectors/agropecuaria>. Acesso em: 12 jul. 2022.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970-2020)**. 2021. Disponível em: <https://seeg.eco.br/documentos-analiticos>. Acesso em: 12 jul. 2022.

OLIVEIRA, P. P. A. *et al.* Greenhouse gas balance and carbon footprint of pasture-based beef cattle production systems in the tropical region (Atlantic Forest biome). **Animal**, v. 14, n. S3, p. s427-s437, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731120001822>

OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; HALL, J. A. J.; FOLEGATTI MATSUURA, M.; ZANETT ALBERTINI, T.; FERNANDES, F. A.; MORAN, D. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 493-497, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2916>

OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; HALL, J. A. J.; MORETTI, A. C.; VELOSO, R. F.; ALEXANDER, P.; CRESPOLINI, M.; MORAN, D. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 201-211, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.02.001>

OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; PELLEGRINO, G. Q.; MORAN, D. The role of agricultural intensification in Brazil's Nationally Determined Contribution on emissions mitigation. **Agricultural Systems**, v. 161, p. 102-112, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.003>

PEIXOTO, M. Assitência técnica e extensão rural: grandes deficiências ainda persistem. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário**. Brasília: IPEA, IBGE, 2020. 410 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10339>. Acesso em: 01 dez. 2020.

PEROBELLI, F. S. *et al.* Produtividade do setor agrícola brasileiro (1991-2003): uma análise espacial. **Nova Economia**, v. 17, p. 65-91, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-63512007000100003>

PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Managing eucalyptus trees in agroforestry systems: productivity parameters and PAR transmittance. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 312, p. 107350, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107350>

PFEIFER, L. F. M. *et al.* Caracterização da pecuária em Rondônia. Embrapa Rondônia-Capítulo em livro científico (ALICE), 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1136523/caracterizacao-da-pecuaria-em-rondonia>. Acesso em: 02 junho 2022.

PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DA COBERTURA E USO DO SOLO NO BRASIL. **Coleção 4.1 – Projeto MapBiomias**. 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download>. Acesso em: 14 maio 2020.

RANGEL, J. H. A. *et al.* Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) indicados para a região nordeste do Brasil. 2015. EMBRAPA: Comunicado Técnico, n. 160, 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1041887/1/cot160.pdf>. Acesso em: 02 junho 2022.

REBELLO, F. K.; HOMMA, A. K. O. Estratégias para reduzir desmatamentos e queimadas na Amazônia. In: VEIGA, J. E. (Org.). **Economia socioambiental**. São Paulo: Senac, 2009. p. 235-261.

RESENDE, L. O.; MÜLLER, M. D.; KOHMANN, M. M.; PINTO, L. F. G.; CULLEN JUNIOR, L.; DE ZEN, S.; REGO, L. F. G. Silvopastoral management of beef cattle production for neutralizing the environmental impact of enteric methane emission. **Agroforestry Systems**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00460-x>

REYNA, E. D.; BRAGA, M. J.; MORAIS, G. A. S. Impactos do uso de agrotóxicos sobre a eficiência técnica na agricultura brasileira. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário**. Brasília: IPEA, IBGE, 2020. 410 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10339>. Acesso em: 01 dez. 2020.

SILVA, R. P.; BARICELO, L. G.; VIAN, C. E. F. Evolução, composição e distribuição regional do estoque de tratores e máquinas agrícolas no Brasil. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário**. Brasília: IPEA, IBGE, 2020. 410 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10339>. Acesso em: 01 dez. 2020.

ROJAS-DOWNING, M. M.; NEJADHASHEMI, A. P.; HARRIGAN, T.; WOZNICKI, S. A. Climate change and livestock: impacts, adaptation, and mitigation. **Climate Risk Management**, v. 16, p. 145-163, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>

ROQUE, B. M. *et al.* Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. **PLoS One**, v. 16, n. 3, p. e0247820, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>

RUGGIERI, A. C. *et al.* Grazing intensity impacts on herbage mass, sward structure, greenhouse gas emissions, and animal performance: analysis of *Brachiaria* pastureland. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1750, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111750>

SANTOS, M. A. S. *et al.* Caracterização do nível tecnológico da pecuária bovina na Amazônia Brasileira. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 1, p. 103-111, 2017.

SANTOS, J. S. *et al.* Characterising the spatial distribution of opportunities and constraints for land sparing in Brazil. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58770-5>

SILVA, J. G.; RUVIARO, C. F.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Livestock intensification as a climate policy: lessons from the Brazilian case. **Land Use Policy**, v. 62, p. 232-245, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.12.025>

SOUZA FILHO, W. *et al.* Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: trade-offs between animal performance and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 968-975, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.245>

SOUZA, G. S.; GOMES, E. G.; ALVES, E. R. A. Uma visão da produção da agricultura brasileira com base em dados recentes do censo agropecuário. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Orgs.). **Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário**. Brasília: IPEA, IBGE, 2020. 410 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10339>. Acesso em: 01 dez. 2020.

STRASSBURG, B. B. N.; LATAWIEC, A. E.; BARIONI, L. G.; NOBRE, C. A.; DA SILVA, V. P.; VALENTIM, J. F.; VIANNA, M.; ASSAD, E. D. When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 84-97, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001>

TELHADO, S. F. P.; CAPDEVILLE, G. **Tecnologias poupa-terra 2021**. Brasília: Embrapa, 2021. 162 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1131517/tecnologias-poupa-terra-2021>. Acesso em: 10 jul. 2022.

TELLES, T. S.; RIGHETTO, A. J. Crescimento da agropecuária e sustentabilidade ambiental. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R. (Org.). **Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira**. Brasília: Ipea, 2019. p. 89-113. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/191126_diagnostico_e_desafios_da_agricultura_brasileira.pdf. Acesso em: 11 set. 2020.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World population prospects 2019: highlights**. New York, 2019. 46 p. Disponível em: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf. Acesso em: 07 jul. 2020.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. **Livestock and poultry: world markets and trade**. 2020. 17 p. Disponível em: <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/73666448x?locale=en>. Acesso em: 01 jul. 2020.

VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. Tendências e perspectivas da pecuária bovina na Amazônia brasileira. Belém: **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 4, n. 8, p. 273-283, jan./jun. 2009.

VIEIRA FILHO, J. E. R. A fronteira agropecuária brasileira: redistribuição produtiva, efeito poupa-terra e desafios estruturais logísticos. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Orgs.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: Ipea, 2016. p. 89-107. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/160725_agricultura_transformacao_produtiva.pdf. Acesso em: 02 ago. 2020.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil: inovação e competitividade**. Brasília: Ipea, 2017. 305 p. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/170626_livro_agricultura_no_brasil.pdf. Acesso em: 02 ago. 2020.

VIEIRA FILHO, J. E. R. **Efeito poupa-terra e ganhos de produção no setor agropecuário brasileiro**. Brasília: Ipea, 2018. (Texto para Discussão, n. 2386). Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2386.pdf. Acesso em: 02 ago. 2020.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G.; RONSOM, S. Inovação e expansão agropecuária brasileira. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário**. Brasília: IPEA, IBGE, 2020. 410 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10339>. Acesso em: 01 dez. 2020.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário**. Brasília: IPEA, IBGE, 2020. 410 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10339>. Acesso em: 01 dez. 2020.

VINHOLIS M. M. B. *et al.* **Adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em São Paulo**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2020. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 47). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214315/1/AdocaoSistemasIntegracao.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2022.

WINCKLER, L. Uso da água nas unidades de produção de leite. *In*: ZANELA, M. B.; DERETI, R. M. **7º Dia de campo do leite**: da pesquisa para o produtor. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 53 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1108482/1/LilianCapitulo.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2022.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2012. 42 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77431/1/DOC189.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Relação de Variáveis e Tabelas SIDRA – 2006/2017

Variável	Descrição	2006	2017
X ₁	Taxa de lotação	Tabelas 922 e 1011	Tabelas 6910 e 6881
X ₂	Proporção do número de cabeças de bovinos da pecuária para cria, recria ou engorda em relação ao número total de cabeças de bovinos	Tabela 930	Tabela 6910
X ₃	Proporção de áreas de pastagens plantadas em boas condições em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Tabela 1011	Tabela 6881
X ₄	Proporção de áreas de pastagens plantadas em boas condições em relação às áreas de pastagens plantadas degradadas dos estabelecimentos agropecuários	Tabela 1011	Tabela 6881
X ₅	Proporção de áreas de matas e/ou florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal da pecuária em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Tabela 1011	Tabela 6881
X ₆	Proporção de áreas de matas e/ou florestas naturais da pecuária em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Tabela 1011	Tabela 6881
X ₇	Proporção do número de estabelecimentos com recursos hídricos da pecuária que possuem nascentes protegidas por matas em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Tabela 1012	Tabela 6861
X ₈	Proporção do número de estabelecimentos com recursos hídricos da pecuária que possuem rios ou riachos protegidos por matas em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Tabela 1012	Tabela 6861
X ₉	Proporção de áreas dos estabelecimentos da pecuária que adotam práticas agrícolas em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Tabela 837	Tabela 6880
X ₁₀	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária que realizaram despesas com sementes e mudas em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Tabela 5445	Tabela 6899
X ₁₁	Proporção de áreas de sistemas agroflorestais da pecuária em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários	Tabela 1011	Tabela 6881
X ₁₂	Proporção do número total de estabelecimentos que receberam orientação técnica em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Tabela 1245	Tabela 6850

X ₁₃	Proporção do número total de estabelecimentos que realizaram controle de doenças e/ou parasitas nos animais em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Tabela 1246	Tabela 6906
X ₁₄	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária que realizaram despesas com medicamentos em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Tabela 5445	Tabela 6899
X ₁₅	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária que realizaram despesas com sal, ração e outros suplementos em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Tabela 5445	Tabela 6899
X ₁₆	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária que realizaram despesas com energia elétrica em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Tabela 5445	Tabela 6899
X ₁₇	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária com unidades armazenadoras em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Tabela 856	Tabela 6867
X ₁₈	Proporção do número de estabelecimentos da pecuária que possuem máquinas e implementos agrícolas em relação ao número total de estabelecimentos agropecuários	Tabela 861	Tabela 6873

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 (IBGE).