



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/04.20.12.30-TDI

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E USO DA TERRA PARA AGRICULTURA NO BRASIL

João Arthur Pompeu Pavanelli

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelo Dr. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto, aprovada em 14 de abril de 2020.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/42BUNDL>>

INPE
São José dos Campos
2020

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**Presidente:**

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

Membros:

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

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

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

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

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

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

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

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



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/04.20.12.30-TDI

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E USO DA TERRA PARA AGRICULTURA NO BRASIL

João Arthur Pompeu Pavanelli

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelo Dr. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto, aprovada em 14 de abril de 2020.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/42BUNDL>>

INPE
São José dos Campos
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pavanelli, João Arthur Pompeu.

P288a Análise espaço-temporal da produção de alimentos e uso da terra para agricultura no Brasil / João Arthur Pompeu Pavanelli. – São José dos Campos : INPE, 2020.
xvi + 87 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/04.20.12.30-TDI)

Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2020.
Orientador : Dr. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto.

1. Sustentabilidade. 2. Intensificação da agricultura.
3. Crescimento populacional. 4. Mudanças de dietas.
5. Conservação ambiental. I.Título.

CDU 502.131.1:631



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

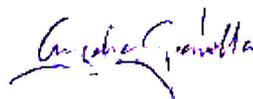
This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **João Arthur Pompeu Pavanelli**

Título: "ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E USO DA TERRA PARA AGRICULTURA NO BRASIL."

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

Dra. **Angélica Giarolla**

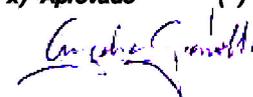


Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado **Reprovado**

Dr. **Jean Pierre Henry Balbaud Ometto**

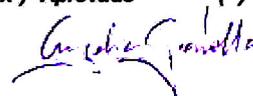


Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado **Reprovado**

Dra. **Camille Lanzarotti Nolasco**

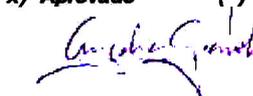


Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado **Reprovado**

Dr. **Luiz Antônio Martinelli**



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

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado **Reprovado**

Dra. **Lívia Cristina Pinto Dias**



Convidado(a) / UFOP / Ouro Preto - MG

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado **Reprovado**

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

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

Dr. David Montenegro Lapola



Convidado(a) / UNICAMP / Campinas - SP

Participação por Video - Conferência

Aprovado *Reprovado*

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

AGRADECIMENTOS

Essa tese é fruto de conversas, debates, leituras, ideias e experiências vividas com inúmeras pessoas que cruzaram meu caminho, principalmente nos últimos dez anos. Algumas de convívio mais próximo, diário, em aulas, em casa, tanto nos espaços acadêmicos como fora deles, presencial ou remotamente. Outras apenas de passagem e breves interações. Apesar de ser impossível de citar todas essas pessoas nesse breve espaço, tenho a certeza de que elas se reconhecerão aqui e saberão o quanto sou grato por participarem da construção desse conhecimento que extrapola em muito essa tese. São experiências e conhecimentos para toda uma vida.

Durante os quatro anos na PGCST porém, devo dedicar meus agradecimentos, em primeiro lugar, ao Dr. Jean Ometto, que me acolheu e me incentivou a seguir o caminho que desembocou nessa tese. Sou igualmente grato à Angela Harada e Mariana Santos, bem como à toda a turma de 2016: Ana, André, Cássia, Fred, Karina e Kelly. Não posso deixar de mencionar todas as pessoas envolvidas no projeto DEVIL, em especial à Lu Soler, Jacque Gerage (quem me forneceu todos os dados sobre composição nutricional do alimentos, fundamentais pro meu trabalho), Gustavo Arcoverde, Evandro Albiachi, Rafa, Yara, Profa. Dra. Nina Buchmann, Prof. Dr. Bob Scholes, Ndoni Mcunu, Prof. Dr. Pete Smith, Dr. Paul West e Dr. James Gerber.

Agradeço também à Dra. María José Sanz Sánchez, que me abriu as portas do BC3 (Klima Aldaketa Ikergai) para trabalhar com a equipe liderada pelo Dr. Ferdinando Villa, Dr. Stefano Balbi e Dra. Ainhoa Magrach. Patri, Keko (el perro), Jon, Zuriñe, Ametz, Berta, Esti, Zesar, Sara, Alba, Mekauen eta Zirika, y a la gente de BC3 (Cristina Sanchez (Cris), Sébastien Huclin (Sebas), Alejandro Rodríguez-Zúñiga (Ale, mi compañero de mate!), Enrico Giroto, Nicolas Gonzales (Nico), Itxaso Ruiz, María Ruiz, Alba Márquez, Silvestre Jalón, Kayin Venner, Giulia Gadani, Teresa Gimeno, Asma Jebari, Alessandro Silvestri, Elena López, Alevgul Sorman (Alev), Sérgio Faria, Jorge Curiel, María del Mar (Marimar), Elena Galán, David Moreno, Marc Neumann, Iratxe Rubio, Asun Rodríguez, Noelia Zafra, Rachel Smith, Sjoukje Osinga, Nerea Ortiz, Ainhoa Azkarate, Susana Perez, Silvia de Luis, Iruna Vegas, Ainara Fernandez, Raquel Vega): bihotzean eramaten zaituztet. Eskerrik asko!

Por fim, agradeço à CAPES pela bolsa de doutorado com período sanduíche no País Basco e à banca (Dra. Angélica Giarolla, Dra. Camille Nolasco, Dra. Lívia Dias, Dr. David Lapolla e Dr. Luiz Martinelli) pelas valiosas críticas e contribuições.

RESUMO

Um dos maiores desafios para a sociedade nesse século é o de minimizar os impactos do sistema alimentar sobre o ambiente. Este trabalho estima a área para produção de alimentos no Brasil e avalia se a produção agrícola nacional seria suficiente para promover a segurança alimentar limitando a expansão da agricultura, bem como explora os impactos de diferentes dietas para o uso da terra. Mais especificamente, foram combinadas oferta e demanda de alimentos, em termos de nutrientes fornecidos ao sistema alimentar nacional, baseado em três décadas de dados sobre produção agrícola, comércio internacional, uso da terra e população. Assim, as tendências de disponibilidades de nutrientes ao sistema alimentar foram avaliadas em conjunto com as projeções de crescimento populacional em cenários de mudanças de dietas com limitação de uso da terra. Os resultados indicam que, nas últimas três décadas, o Brasil utiliza em média 22% de sua área agrícola para a produção de alimentos, e que nenhuma expansão da agropecuária é necessária no futuro para promoção da segurança alimentar e nutricional. Ainda, em cenários com menores níveis de produção e consumo produtos de origem animal, entre 50% e 90% menos terra seriam necessárias para a produção de alimentos em quantidades suficientes. Conclui-se que o sistema alimentar brasileiro poderia promover a segurança alimentar sem mais expansão da agricultura ou mudança de dieta e que dietas com menores níveis de consumo de carne reduziriam substancialmente a demanda de terra para alimentar a população. Assim, são fornecidas evidências de que a produção de alimentos é compatível com a conservação ambiental no Brasil.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Intensificação da agricultura. Crescimento populacional. Mudanças de dietas. Conservação ambiental.

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS ON FOOD PRODUCTION AND AGRICULTURAL EXPANSION IN BRAZIL

ABSTRACT

Limiting the impacts of the food system on the environment is one of the greatest challenges for society in this century. This work estimates the area for food production in Brazil and assess whether or not the country could achieve food security only through domestic agricultural production, and explore impacts of dietary change scenarios on the national agricultural footprint. More specifically, supply and demand for food are combined in terms of nutrients delivered to the national food system, based on three decades of data on agricultural production and trade, land use and population. Then, trends in nutrients availability to the food system and how future population projections and changes in diets would affect land demand for food security are assessed. The results show that, in the last three decades, Brazil uses on average 22% of its farmland to produced food and that no additional land use for agriculture is necessary in the future to deliver national food security. Moreover, in scenarios of production and consumption with lower levels of animal products would require from 50% to 90% less land to produce enough food. In conclusion, the Brazilian food system could deliver food security without any additional land for agriculture or any change in diet. Nevertheless, our results show that shifting to diets with lower levels of meat consumption would substantially reduce land demand for feeding the population. Thus, there is evidence that food production is compatible with environmental conservation in Brazil.

Keywords: Sustainability. Agricultural intensification. Population growth. Shifting diets. Environmental conservation.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
3.1 Divisão das regiões adotadas para fins de comparação.	17
4.1 Cobertura vegetal e agricultura no Brasil entre 1988 e 2017.	25
4.2 Índice Global de Moran entre 1988 e 2017.	26
4.3 Cobertura vegetal e agricultura nas regiões brasileiras entre 1988 e 2017.	27
4.4 Cobertura vegetal e agricultura nos municípios brasileiros em 1988, 2003 e 2017.	28
4.5 Tendências monotônicas dos usos da terra nos municípios brasileiros. . .	30
4.6 Tendências de áreas para a produção de alimentos e demais produtos agropecuários no Brasil.	32
4.7 Tendências de áreas para a produção de alimentos e demais produtos agropecuários nas regiões.	34
4.8 Diferença normalizada da área de alimentos e <i>commodities</i>	35
4.9 Percentual de uso das pastagens.	37
4.10 Pastagens não-produtivas no Brasil e regiões.	38
4.11 Produção de nutrientes total e percentual entregue ao sistema alimentar.	40
4.12 Percentual de alimentos produzidos nas áreas pastagens.	41
4.13 Percentual de alimentos produzidos nas regiões.	42
4.14 Cenários de dietas e demanda de uso da terra.	44

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 Requisitos nutricionais diários para a população brasileira ponderada por idade e sexo. Para melhor visualização, os valores são mostrados a cada 10 anos, incluindo projeções futuras (2020-2060).	15
3.2 Reclassificação dos produtos MapBiomass.	16
3.3 Suposições feitas para alocação de “outros usos” e “processado” da FBS/FAO.	20
3.4 Resumo das suposições feitas em cada cenário.	24
A.1 Valores nutricionais dos alimentos analisados, com base na TACO e USDA. Os valores representam as quantidades por 100g de alimento. As unidades estão em parênteses.	77
B.1 Percentual da população que poderia ter suas necessidades nutricionais e energéticas supridas em cada cenário. Os resultados são mostrados a cada dez anos, incluindo as futuras projeções (2020-2060). A produção de 2017 é usada como referências para as projeções futuras, considerando a dinâmica populacional projetada pelo IBGE e nenhuma expansão de área para agricultura.	85

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 SUMÁRIO EXECUTIVO	1
2 INTRODUÇÃO	5
3 DADOS E ANÁLISES	11
3.1 Dados	11
3.1.1 Produção agrícola	12
3.1.2 FAOSTAT	12
3.1.3 Uso e cobertura da terra	13
3.1.4 Composição nutricional da produção	14
3.1.5 Requisitos nutricionais da população brasileira	14
3.2 Processamentos e análises	16
3.2.1 Desagregação da produção agrícola e do uso da terra	18
3.2.2 Cenários de segurança alimentar	23
4 RESULTADOS	25
4.1 Panorama do uso da terra para agricultura	25
4.2 Comida ou <i>commodity</i> ? Mudanças de uso da terra para produção de alimentos e outros produtos agropecuários	31
4.2.1 Pastagens não-produtivas	36
4.3 Produção de alimentos	39
4.3.1 Evolução da produção de nutrientes	39
4.3.2 Cenários de dietas e demanda de uso da terra	43
4.4 Avaliação e comparação dos resultados com a literatura	46
5 DISCUSSÃO	49
5.1 Limitações e apontamentos gerais	56
6 CONCLUSÕES	59

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXO A - VALORES NUTRICIONAL DOS ALIMENTOS ANA- LISADOS	77
ANEXO B - CENÁRIOS	85

1 SUMÁRIO EXECUTIVO

Nesse Sumário Executivo, os principais resultados obtidos neste trabalho são apresentados de forma resumida e em tópicos. As páginas referenciadas indicam onde as informações podem ser encontradas em mais detalhes no documento.

Entre 1988 e 2017 foram convertidos 63 Mha de cobertura vegetal no Brasil, ao passo em que a expansão absoluta da área de lavouras e pastagens foi de 62 Mha. Em torno de 30% do uso da terra no país está diretamente relacionado com atividades agropecuárias (p. 25).

- As lavouras expandiram de 56 Mha para 78 Mha;
- As pastagens expandiram de 127 Mha para 166 Mha;
- Até 1997 houve uma tendência de maior concentração espacial da área agrícola em alguns municípios. Esse padrão se manteve para as lavouras em regiões de agricultura consolidadas, enquanto as pastagens apresentaram uma leve tendência de difusão, indicando a expansão para outras regiões;
- Amazônia, Pantanal e a região do MATOPIBA apresentam as maiores proporções de cobertura vegetal atualmente;
- A expansão das lavouras foi significativa em aproximadamente um terço dos municípios brasileiros;
- 46% dos municípios brasileiros apresenta tendência temporal significativa de perda de cobertura vegetal;
- As principais zonas de expansão das pastagens estão aglutinadas no Pantanal e na Amazônia Legal, especialmente no chamado “Arco do Desmatamento”.

Dos 62 Mha de terras incorporadas ao sistema agrícola nacional entre 1988 e 2017, 43 Mha (69%) foram de *commodities* para exportação e etanol. O restante foram de pastagens indiretamente ligadas à produção pecuária (p. 39).

- A área média para a produção de alimentos é de 62 Mha (± 2 Mha), no entanto a área em 2017 é de 55 Mha;

- A área plantada com lavouras para a produção de alimentos reduziu 56%, de 21,8 Mha para 12,3 Mha. Desde 2001, a área plantada para exportação ocupa mais área do que para alimentos;
- A região com maior área para produção de alimentos é a Mata Atlântica (20 Mha);
- No Brasil há em torno de 84 Mha (± 17 Mha) de pastagens não utilizados para produção nem de alimentos nem de *commodities* (p. 37).

A expansão das lavouras na Amazônia Legal acontece principalmente sobre pastagens nas áreas de Cerrado (p. 29).

- A partir de 2012 há um crescimento da área de lavouras, acompanhada pela diminuição das pastagens na Amazônia Legal;
- Em termos absolutos houve uma expansão de 6 Mha para 21 Mha de lavouras na Amazônia Legal, concentrados nos municípios da região centro-norte mato-grossense.

O Cerrado se caracteriza como a principal zona de expansão de lavouras nas últimas três décadas com destaque, no período mais recente, para a região do MATOPIBA. (p. 33).

- A área de lavouras expandiu 233% no Cerrado;
- 43% da área de lavouras do país está no Cerrado;
- O Cerrado abriga 53% da área total para *commodities* de exportação e etanol;
- Um terço do desmatamento no Cerrado foi no MATOPIBA, dos quais 30% aconteceu no período de 2012 a 2017;
- É no Cerrado que a área para *commodities* de exportação mais aumentou: 16 Mha (4 Mha no MATOPIBA);
- No período de 1988 a 2017, o desmatamento no Cerrado foi 10 Mha menor do que na Amazônia (22 Mha e 32 Mha, respectivamente).

Enquanto a área agropecuária aumentou 33%, a produção de nutrientes mais do que triplicou entre 1988 e 2017, evidenciando uma forte tendência de intensificação da agricultura (p. 39).

- No entanto, 13% ($\pm 2\%$) dos macronutrientes, 14% ($\pm 13\%$) dos minerais e 30% ($\pm 32\%$) das vitaminas são fornecidos ao sistema alimentar na forma de alimentos;
- As pastagens produzem uma pequena parcela da maioria dos nutrientes, apesar de ser o maior uso da terra.

A região da Mata Atlântica é a maior produtora de alimentos do Brasil. Usando 36% da área para a produção de alimentos, foi responsável por 42% ($\pm 3\%$) dos macronutrientes e calorias, 47% dos minerais ($\pm 14\%$) e 59% das vitaminas ($\pm 13\%$) (p. 42).

A quantidade de alimentos produzida no Brasil entre 1988 e 2017 sempre foi maior, ou virtualmente equivalente, ao necessário para suprir a demanda energética da população brasileira (p. 44).

- A quantidade de alimentos produzida em 2017, se mantida anualmente sem alterações de produtividade e área, poderia suprir as necessidades futuras até 2060;
- Um sistema alimentar sem pecuária de corte não significaria uma diminuição de grande magnitude para a disponibilidade de alimentos mas poderia reduzir o uso da terra para menos da metade do atual;
- A insegurança alimentar no Brasil, assim, não se deve à falta de alimentos mas ao acesso.

2 INTRODUÇÃO

Um sistema alimentar é composto por toda uma cadeia de valores que visa transformar recursos naturais em alimentos para o consumo humano e seu funcionamento é determinado por um conjunto complexo e interativo de condicionantes ambientais, sociais, políticos e econômicos (GRANT et al., 2018). Segundo esse arcabouço, todo o sistema funciona por meio de uma rede complexa de atores, cada qual com diferentes influências e poderes mas que, idealmente, convergem para garantir os resultados desejados de um sistema alimentar: segurança alimentar e nutricional (SAN), bem-estar humano e sustentabilidade ambiental. Essa cadeia de valores é composta de cinco etapas, iniciando pela produção agrícola e passando pelo processamento desses produtos, distribuição e consumo dos alimentos e, finalmente, a resposta fisiológica do corpo humano ao alimento ingerido. Todas essas etapas demandam recursos e resultam em perdas de energia e material, por exemplo, perdas pós-colheita que significam desperdício de trabalho e insumos, a dependência do transporte em longas distâncias e o desperdício de alimentos nas fases de distribuição e consumo. Desse modo, todas as etapas da cadeia de valores do sistema alimentar geram externalidades que impactam negativamente o ambiente de forma local, regional e global, a exemplo da emissão de gases de efeito estufa (GEE).

O primeiro resultado esperado do sistema alimentar é a SAN, definida como a realização do direito ao acesso regular e permanente aos alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso à outras necessidades essenciais, tendo como base as práticas alimentares promotoras da saúde, que respeitam a diversidade cultural e que sejam social, econômica e ambientalmente sustentáveis (KEPPLE et al., 2014). Ainda segundo esse conceito, são quatro dimensões básicas da SAN:

- 1) disponibilidade: que envolve questões de produção, comércio internacional e nacional, abastecimento e distribuição de alimentos;
- 2) o acesso físico e econômico aos alimentos: que realiza-se quando toda população tem a capacidade de obter alimentos de forma socialmente justa;
- 3) a utilização dos alimentos e dos nutrientes: que geralmente é pensada em termos de sua utilização biológica, influenciada pelas condições de saneamento básico e de saúde das pessoas e a segurança microbiológica e química dos alimentos e;

- 4) a estabilidade: que se refere ao elemento temporal das três outras condições citadas.

O primeiro desafio para a promoção da SAN é o de garantir a disponibilidade permanente de alimentos para que as populações possam acessá-los (JONES et al., 2013). Por isso, o foco deste trabalho está exclusivamente em sua primeira dimensão, a produção de alimentos, e em seu impacto negativo direto no ambiente em representado pelas mudanças de cobertura da terra.

Se a expansão e a intensificação da agricultura, principalmente nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, puderam mais do que dobrar a produção agrícola nos últimos quarenta anos (BENNETZEN et al., 2016), também causou inúmeros efeitos adversos para o ambiente em escala global (FOLEY et al., 2005; GIBBS et al., 2010). Esses efeitos vão no sentido oposto da sustentabilidade que, segundo Grant et al. (2018), seria o resultado desejável para um sistema alimentar. Para exemplificar, atualmente 40% da superfície livre de gelo do planeta está sob algum tipo de uso agropecuário (RAMANKUTTY et al., 2008), e a perda e fragmentação de habitat causados por essa expansão são os principais fatores que levam às altas taxas atuais de perda de biodiversidade (PIMM; RAVEN, 2000; CEBALLOS et al., 2015). Nas últimas décadas, o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos cresceu 800% e o uso da água para agricultura dobrou (MBOW; ROSENZWEIG, 2019). Além disso, a agricultura é responsável pela emissão de 23% dos GEE antropogênicos, contribuindo assim para os atuais aumentos médios de temperatura do ar na superfície terrestre desde o período pré-industrial (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2019).

Ainda, se no aspecto ambiental a produção não está atingindo a sustentabilidade necessária para a regulação dos serviços ecossistêmicos dos quais a própria agricultura é dependente (POWER, 2010), como a regulação climática (HATFIELD et al., 2011; WHEELER; BRAUN, 2013; RAY et al., 2015), a preservação dos solos e das águas (GOMES et al., 2019; FITTON et al., 2019) e a garantia dos serviços de polinização (NOVAIS et al., 2016), o bem-estar humano e a segurança alimentar também não estão satisfeitas (MCGUIRE, 2015). Desse modo, os atores do sistema alimentar global devem trabalhar no sentido de reduzir as externalidades ambientais da agricultura para promover a segurança alimentar, o que é dos grandes desafios ambientais deste século (SMITH, 2018).

Enquanto cerca de 820 milhões de pessoas ainda sofrem de subnutrição, evidenciando

o enorme desafio de erradicação da fome até 2030 (MCGUIRE, 2015), o comércio internacional de produtos agrícolas pode contribuir para aumentar a disponibilidade de alimentos onde há falta (DAWSON et al., 2016), pois atualmente ele representa aproximadamente um quarto dos alimentos consumidos mundialmente (D'ODORICO et al., 2014). No entanto, em torno de 70% do comércio internacional de produtos agrícolas são concentrados por 33 países majoritariamente importadores e 20 países exportadores, dentre eles, o Brasil, que participa com 10% de toda a área cultivada para o comércio internacional no mundo (MACDONALD et al., 2015). Portanto, o Brasil se consolida como um ator de suma importância no sistema alimentar global e, por isso, atingir a sustentabilidade da agricultura no país significa um benefício também para outros países (MARTINELLI et al., 2016).

O Brasil abriga a maior biota continental do planeta (BRANDON et al., 2005), a maior extensão contínua de florestas tropicais do mundo e, conseqüentemente, o maior estoque de carbono associado (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 2015a), com um papel fundamental na regulação regional, continental e global de diversos serviços ecossistêmicos (STRAND et al., 2018; PENG et al., 2020). Cerca de um quarto do uso da terra nacional é para a agricultura (LOSSAU et al., 2015) e mudanças ambientais regionais relacionadas ao clima, causadas pelas mudanças de uso da terra, já podem ser observadas nas principais fronteiras agrícolas (SAMPAIO et al., 2007; SPERA et al., 2017; LEITE-FILHO et al., 2019). Desse modo, futuras mudanças de uso da terra em larga escala para agricultura podem causar mais impactos negativos tanto ao ambiente quanto à produtividade agrícola, aumentando a demanda de terras para a produção em um efeito de retroalimentação positiva (COSTA et al., 2019).

A expansão da agricultura no Brasil é uma causa importante da conversão da cobertura vegetal, a principal fonte de emissões de GEE antropogênicos do país (WEST et al., 2014; SOUSA-NETO et al., 2018), ainda que a efetivação de políticas públicas e a intensificação da agricultura tenham dissociado essa tendência das taxas de desmatamento (LAPOLA et al., 2014; DIAS et al., 2016). Uma das políticas recentes, que foi central para a conservação e redução do desmatamento no Brasil, foi o Plano De Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), lançado em 2004 (NEPSTAD et al., 2014) e, agora, implementado no Cerrado (PPCerrado), uma região de extrema importância para a biodiversidade e para a produção agrícola (STRASSBURG et al., 2017). Por sua vez, a Moratória da Soja, um compromisso assumido pelo setor privado de não comprar soja de áreas desmatadas na Amazônia, também teve um efeito positivo para a redução do desmatamento ilegal na região

(NEPSTAD et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2019). Ao mesmo tempo, a implementação de políticas para a promoção da segurança alimentar contribuiu para que o Brasil saísse do mapa da fome da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, a FAO, em 2014 (BELIK, 2013; CASTRO, 2019), evidenciando o papel que a implementação de políticas públicas e acordos com o setor privado exercem para melhorar o funcionamento do sistema alimentar como um todo, com resultados positivos tanto para o ambiente quanto para a produção e para a segurança alimentar.

Um cenário de enfraquecimento da governança ambiental no país poderia elevar os níveis de desmatamento e de emissões de GEE, o que comprometeria acordos internacionais, inclusive com consequências comerciais negativas para as exportações agrícolas (ROCHEDO et al., 2018). E é exatamente esse cenário, com o aumento das taxas de desmatamento tanto na Amazônia quanto no Cerrado, que o Brasil vive desde o início da década, com a reformulação das leis ambientais brasileiras (SPAROVEK et al., 2012; SOARES-FILHO et al., 2014; REYDON et al., 2019). Desde então, o debate sobre o relaxamento do sistema de proteção ambiental brasileiro para possibilitar a expansão da agricultura é corrente, se intensificando da segunda metade para o fim da década (FEARNSIDE, 2016; CROUZEILLES et al., 2017; FERRANTE; FEARNSIDE, 2019). Por outro lado, a extinção de iniciativas públicas para a promoção da segurança alimentar pode colocar o Brasil de volta ao mapa mundial da fome (CASTRO, 2019), mesmo com mais áreas destinadas para a agricultura.

A proporção do território necessária para atender as demandas alimentares da população brasileira, que atualmente conta com 210 milhões de pessoas, é desconhecida. Martinelli et al. (2010a), Strassburg et al. (2014) e Sparovek et al. (2015) argumentam que o aumento da produtividade das pastagens poderia liberar uma quantidade de terras tamanha que seriam suficientes para aumentar a produção sem desmatar. Ainda, Foley et al. (2011), Smith (2013) e Cassidy et al. (2013) apontam para a importância de se considerar que mais alimentos podem ser produzidos com a mesma quantidade de área, ou até menos, com a intensificação da agricultura e se as preferências dietéticas mudarem no sentido do menor consumo de produtos animais, em especial da carne bovina produzida em sistemas extensivos. Em conjunto, a intensificação da agricultura e as mudanças de dietas poderiam contribuir para a promoção da segurança alimentar, diminuindo a pressão do uso da terra sobre o ambiente.

Ainda que vários estudos recentes abordem conjuntamente a demanda por alimentos e uso da terra em diferentes escalas e países (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012; RUI-

TER et al., 2018), até o momento da elaboração dessa tese, sabe-se de somente dois trabalhos científicos que tratam do tema visando a segurança alimentar no Brasil. O primeiro analisa se a quantidade de hortaliças produzida no país seria suficiente para atender às recomendações diárias de consumo desses alimentos, de acordo Organização Mundial da Saúde (OMS), mostrando que, apesar de produzir mais do que o suficiente, o consumo desses alimentos está aquém do recomendado (NOLASCO et al., 2017). Já o trabalho de Sparovek et al. (2018) mostra que há uma grande assimetria entre a produção em lavouras e pastagens. Segundo os autores, em 2006, a produção nas lavouras seria suficiente para atender às demandas energéticas e proteínicas de 540 milhões e 1,3 bilhões de pessoas, respectivamente, enquanto a produção das pastagens atenderiam 12 milhões e 66 milhões de pessoas, respectivamente. Apesar disso, a emissão de GEE por unidade de proteína produzida era 100 vezes maior nas pastagens do que na produção das lavouras.

É nesse contexto de enfraquecimento da governança ambiental e alimentar, aumentando as pressões agrícolas sobre a cobertura vegetal e o risco da insegurança alimentar no país, que essa tese contribui com o entendimento sobre a demanda por alimentos e pelo uso da terra no Brasil. Utilizando uma abordagem distinta e que complementa os dois trabalhos supracitados, esta pesquisa leva em conta os requisitos nutricionais da população brasileira para calcular a demanda por terra e se baseia na seguinte pergunta científica: **seria possível promover a segurança alimentar com a produção agrícola doméstica e sem a expansão do uso da terra para agricultura**, considerando a justa distribuição e acesso universal aos alimentos?

Desse modo, a hipótese explorada é a de que *no Brasil não há necessidade de novas conversões de uso da terra para suprir os requisitos nutricionais da sua população*, tal como sugerido por estudos anteriores. Além do objetivo geral dessa tese, o de relacionar as demandas por alimentos e terra para avaliar o impacto da limitação da expansão da agricultura sobre a segurança alimentar da população brasileira, dois objetivos específicos foram propostos:

- Mapear a quantidade de terras agrícolas destinadas à produção de alimentos nas últimas três décadas no Brasil e;
- Analisar em que medida a produção doméstica nacional poderia suprir os requisitos nutricionais da população brasileira entre 1988 e 2060, considerando a limitação do uso da terra para agricultura nos níveis de 2017.

3 DADOS E ANÁLISES

Neste capítulo são apresentadas as fontes de dados, formas de processamento e as análises realizadas para cumprir com os objetivos propostos.

3.1 Dados

Foram utilizadas seis fontes de dados diferentes:

- Produção Agrícola Municipal¹ (PAM) e Pesquisa Pecuária Municipal² (PPM), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Tabelas de Balanço de Alimentos³ (*Food Balance Sheets* - FBS), da FAO;
- Mapas de uso e cobertura da terra produzidos pelo projeto MapBiomass⁴, coleção 3.0
- Composição nutricional dos alimentos da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos⁵ (TACO) e do programa nacional de análise dos alimentos e nutrientes, do departamento de agricultura dos Estados Unidos⁶ (*The United States Department of Agriculture (USDA)'s National Food and Nutrient Analysis Program (NFNAP)*);
- Recomendação dietética (RDA) e Ingestão Adequada (IA) de nutrientes do departamento de medicina dos Estados Unidos⁷;
- Projeções da população brasileira feitas pelo IBGE, de 1980 a 2050⁸, de 2000 a 2060⁹ e de 2010 a 2060¹⁰

¹<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>

²<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas>

³<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBSH>

⁴<http://mapbiomas.org/>

⁵<http://www.nepa.unicamp.br/taco/tabela.php?ativo=tabela>

⁶<https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-bhnrc/beltsville-human-nutrition-research-center/methods-and-application-of-food-composition-laboratory/mafcl-site-pages/nfnap/>

⁷<http://nationalacademies.org/hmd/Activities/Nutrition/SummaryDRIs/DRI-Tables.aspx>

⁸<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv41229.pdf>

⁹ftp://ftp.ibge.gov.br/Projecao_da_Populacao/Projecao_da_Populacao_2013/projecoes_-2013_populacao_ods.zip

¹⁰ftp://ftp.ibge.gov.br/Projecao_da_Populacao/Projecao_da_Populacao_2018/projecoes_-2018_populacao_2010_2060_20200406.ods

3.1.1 Produção agrícola

O Censo Agropecuário e as Produção Agrícola Municipal (PAM)/Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) são os dois levantamentos principais sobre a produção agropecuária no Brasil. Desde a década de 1920 foram realizados onze Censos Agropecuários, sendo 2017 o ano base do último.

As informações são coletadas por agentes do IBGE, que aplicam questionários para avaliar os estabelecimentos agropecuários. Dessa forma, a produção de gêneros alimentícios, *commodities*, silvicultura, extração vegetal, pecuária, dentre outras, são levantadas diretamente com os responsáveis pelos estabelecimentos, sendo o município o menor nível de desagregação geográfica das informações.

A PAM e PPM são realizadas anualmente, desde 1974, com informações de mais de sessenta tipos de cultivos e nove tipos de produção pecuária em todos os municípios brasileiros. Porém, os dados de área plantada das culturas temporárias e área destinada à colheita das lavouras permanentes estão disponíveis a partir de 1988. O levantamento também é realizado por meio de questionário, no entanto é preenchido com informações de diferentes agentes do município, governamentais ou não.

Existe diferenças entre os resultados do Censo Agropecuário e da PAM e PPM para o ano de 2006, o que pode ser explicado pela diferença de metodologia de cada levantamento (LUIZ *et al.*, 2012). Cabe destacar que o Censo Agropecuário traz informações socioeconômicas dos estabelecimentos rurais ausentes na PAM e PPM. Por outro lado, a PAM e a PPM permitem tanto análises conjunturais como de uma longa série temporal de produção agrícola. Assim, a escolha pela PAM/PPM ou pelos dados do Censo Agropecuário depende dos objetivos da pesquisa. Por conta da temporalidade anual, foram utilizadas as informações daqueles produtos disponíveis entre 1988 e 2017, sendo 62 lavouras da PAM (Tabela 5457). Para o mesmo período, foram coletadas da PPM as informações de rebanho de bovinos, suínos e aves (Tabela 3939), número de vacas ordenhadas (Tabela 94) e produção de leite e ovos de galinha (Tabela 74). Esses dados foram coletados na escala do município. Os dados de abates de bovinos, suínos e frangos foram coletados da Pesquisa Trimestral do Abate de Animais em nível nacional (Tabelas 1092, 1093 e 1094, respectivamente).

3.1.2 FAOSTAT

As informações sobre produção agrícola do IBGE são a base de dados que alimenta o banco de informações da FAO, porém a FAO disponibiliza em suas tabelas FBS

uma desagregação das quantidades produzidas anualmente em “exportação”, “ração”, “fibras”, “sementes”, “perdas” (pós colheita), “processamento”, “outros usos” e “alimentos”, além da quantidade importada de cada produto, em escala nacional, para todos os países. A FBS é amplamente utilizada em estudos globais que incluem métricas subnacionais, como [Cassidy et al. \(2013\)](#) e [Santos et al. \(2020\)](#), com aplicação para os municípios brasileiros. Nesse trabalho, as tabelas FBS foram utilizadas para determinar a quantidade de uso da terra e de nutrientes destinados para a produção doméstica de alimentos, bem como para exportação e etanol, como descrito adiante.

3.1.3 Uso e cobertura da terra

Muitos produtos de uso e cobertura da terra estão disponíveis atualmente, o que otimiza o tempo utilizado para a classificação de imagens de sensoriamento remoto. Porém, essa disponibilidade também demanda um refinamento na classificação ou no pós-processamento para a agregação de informações. Desse modo, há dois produtos principais de abrangência nacional e livremente disponibilizados: o IBGE e o MapBiomass.

Os mapas do IBGE foram idealizados no âmbito da pesquisa em mudanças de uso e cobertura da terra para o território nacional e gerados a partir de imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), com resolução espacial de 250 metros ([INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2016](#)). Os mapas foram produzidos para os anos 2000, 2010, 2012, 2014 e 2016, portanto, são adequados para processos mais lentos e que ocorrem em escalas com menor grau de detalhamento espacial.

Já o MapBiomass é um projeto em rede, de iniciativa do Observatório do Clima, que congrega universidades, Organizações Não Governamentais (ONGs), institutos de pesquisas e empresas privadas, com o propósito de gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra para todo o território nacional. Os mapas são gerados com técnicas de mineração de dados, usando imagens dos satélites da série Landsat (5, 7 e 8), com 30 metros de resolução espacial. Até o momento estão disponíveis mapas anuais de 1985 a 2018.

É importante destacar que ambos os produtos apresentam limites inerentes ao emprego de sensoriamento remoto em paisagens complexas como os ecossistemas brasileiros, o que pode levar a erros de mapeamento. As diferenças de escala, área mínima mapeável, periodicidade e delimitação das classes dificultam a integração dos dados,

porém fazem com que cada produto seja mais adequado para uma determinada aplicação. Dessa forma, a escolha do produto a ser utilizado deve considerar os objetivos da pesquisa e a tolerância dos erros. Neste momento, o produto do MapBiomass é o único com periodicidade anual compatível com toda a série histórica da PAM/PPM e com resolução espacial adequada para a análise em escala municipal e, por isso, foi utilizado neste trabalho.

3.1.4 Composição nutricional da produção

A partir do levantamento das culturas e produtos animais da PAM e PPM, compatibilizados com as categorias das tabelas FBS/FAO, foram levantadas as composições de todos os produtos com relação à quantidade de energia e nutrientes, selecionados de acordo com a disponibilidade de informações e compatibilidade com a literatura, em especial com [Herrero et al. \(2017\)](#) e [Ruiter et al. \(2018\)](#). As informações contidas na TACO foram priorizadas por se tratar de um produto nacional, porém na falta de informações nessa tabela, foram usados os valores da tabela NFNAP/USDA. Ao todo, além da energia (kcal), foram incluídos na análise três macro nutrientes (carboidratos, fibras e proteínas) e 16 micronutrientes, sendo oito minerais: cálcio (Ca), cobre (Cu), ferro (Fe), potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn), fósforo (P) e zinco (Zn); e oito vitaminas: A (retinol equivalente), B1, B2, B3, B6, B12, C e Folato. Os produtos analisados e seus valores nutricionais são mostrados no Anexo A.

3.1.5 Requisitos nutricionais da população brasileira

Baseado em [Herrero et al. \(2017\)](#), foram usados os requisitos nutricionais diários (RDA) informados pelo instituto de medicina dos Estados Unidos, que representam a ingestão diária média que poderia atingir as necessidades nutricionais de 97,5% dos indivíduos em cada grupo etário e de sexo. Quando um valor de RDA estava ausente para um determinado nutriente ou grupo populacional, os dados de Ingestão Adequada (IA), que representam o nível de ingestão supostamente adequado para indivíduos saudáveis, foram utilizados na análise.

As recomendações foram ponderadas pela idade e sexo da população brasileira projetada para cada ano, entre 1988 e 2060. Como mencionado anteriormente, o IBGE tem três projeções que reportam o volume populacional em cada faixa etária entre 0 e 90 anos ou mais para homens e mulheres. Para cada período específico foi utilizada uma projeção: entre os anos de 1988 e 2000, foi usada a projeção mais antiga; entre 2001 e 2010, foram usados os dados publicados pelo IBGE em 2008 e, para o período

Tabela 3.1 - Requisitos nutricionais diários para a população brasileira ponderada por idade e sexo. Para melhor visualização, os valores são mostrados a cada 10 anos, incluindo projeções futuras (2020-2060).

	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060
CHO (g/d)	129,1	129,3	129,4	129,5	129,5	129,6	129,6	129,6
Fibra (g/d)	27,9	28,3	28,4	28,3	28,1	27,9	27,7	27,6
Proteína (g/d)	44,3	46,1	48,1	49,2	49,8	50,5	50,9	51,2
Vit. A ($\mu\text{g}/\text{d}$)	472,1	486,3	501,5	509	514,3	519,6	522,7	524,5
Vit. B1 (mg/d)	0,98	1,00	1,03	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08
Vit. B2 (mg/d)	1,01	1,04	1,07	1,09	1,1	1,11	1,11	1,12
Vit. B3 (mg/d)	12,8	13,2	13,5	13,7	13,8	14	14	14,1
Vit. B6 (mg/d)	1,12	1,16	1,21	1,25	1,27	1,3	1,33	1,34
Vit. B12 ($\mu\text{g}/\text{d}$)	2,03	2,09	2,15	2,18	2,2	2,23	2,24	2,25
Folato ($\mu\text{g}/\text{d}$)	338,3	348,3	358,9	364,3	367,9	371,7	373,8	375,1
Vit. C (g/d)	64,1	66,7	69,7	71,5	72,5	73,6	74,3	74,7
Ca (mg/d)	828,3	833	836,2	830,6	835,2	840,5	844,5	850,8
Cu (mg/d)	0,76	0,78	0,8	0,82	0,82	0,83	0,84	0,84
Fe (mg/d)	11	11,1	11,1	10,9	10,7	10,5	10,3	10,2
Mg (mg/g)	295,2	306,7	318,5	324,9	329,4	333,8	336,4	337,9
Mn (mg/d)	1,83	1,86	1,89	1,91	1,93	1,94	1,95	1,95
P (mg/d)	765,6	770,4	764	748,6	745,3	742,2	737,6	735,8
Zn (mg/d)	8,18	8,39	8,62	8,71	8,79	8,87	8,91	8,93
K (mg/d)	2681,8	2721,5	2772,7	2802,1	2820,9	2838,6	2850,1	2856,7

entre 2010 e 2060, foi usada a projeção mais recente disponibilizada pelo IBGE em 2018. Assim, foi obtida uma estimativa da demanda nutricional diária média específica para a composição da população brasileira, em cada ano. Os valores para os últimos anos de cada década são mostrados na Tabela 3.1.

Para a energia, porém, foi usado o Requisito Energético Dietário Médio (*Average Dietary Energy Requirements* - ADER), de 2450 kcal/pessoa/dia (894250 kcal/pessoa/ano), tal como recomendado pela FAO para a população brasileira em 2019. ADER representa o requisito energético diário necessário para um indivíduo e é utilizado como uma referência normativa para a nutrição de uma população. Os valores de ADER se referem ao déficit nutricional, ou seja, a quantidade de energia necessária para erradicar a fome se os alimentos fossem equitativamente distribuídos. Outros valores energéticos são encontrados na literatura, como em Cassidy et al. (2013), que considerou 2700 kcal/pessoa/dia, um valor baseado no consumo energético médio global mostrado por Alexandratos e Bruinsma (2012). Por sua vez, Ranganathan et al. (2016) usou o valor de 2353 kcal/pessoa/dia, que é o valor de ADER global. Especificamente para o Brasil, Sparovek et al. (2018) usaram o valor de 2500 kcal/pessoa/dia, um valor próximo à ADER. Uma vez que essa tese se pro-

põe a fazer uma análise nacional com foco na segurança alimentar, o valor específico recomendado pela FAO para o Brasil foi o escolhido. Todos os valores diários foram multiplicados por 365 para obter a demanda nutricional anual de um indivíduo.

3.2 Processamentos e análises

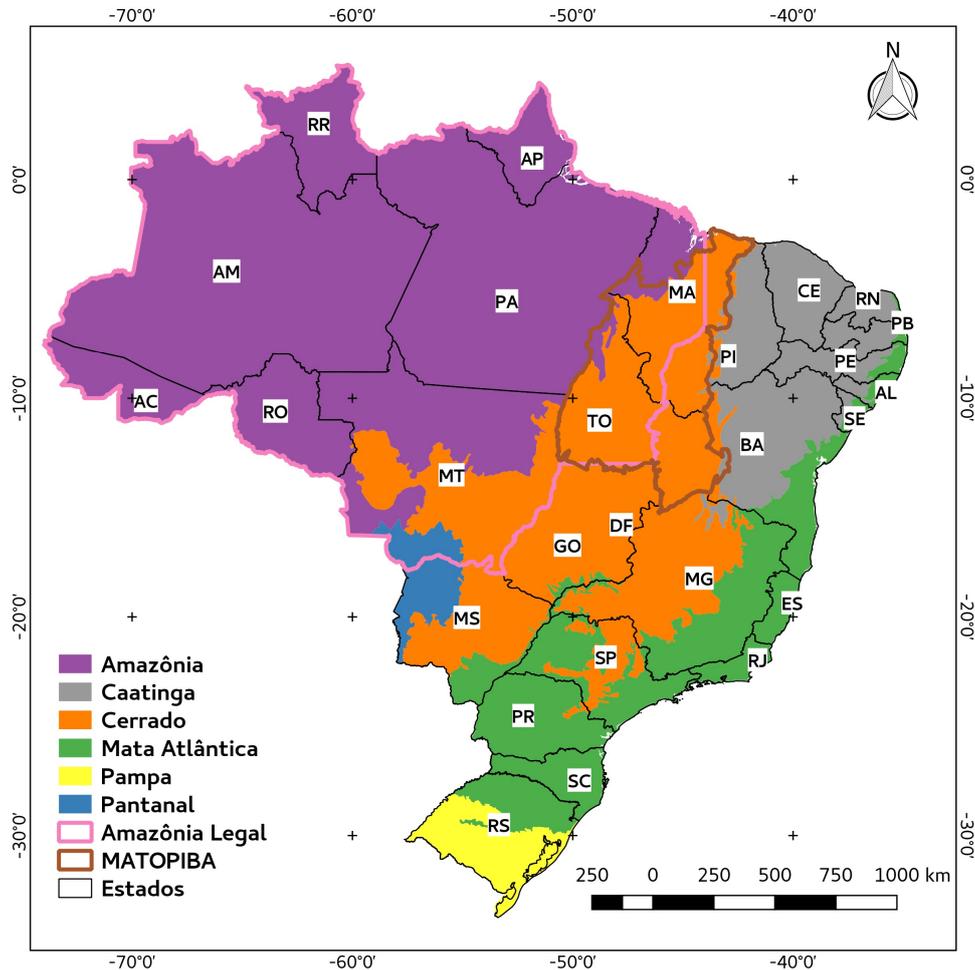
Os mapas de uso e cobertura da terra do MapBiomias foram reclassificados de 33 para 6 classes principais de interesse, mostradas na Tabela 3.2. Com base nos mapas reclassificados, as frações de cada classe de uso da terra foram calculadas para os municípios. Como o MapBiomias tem uma classe de confusão entre agricultura e pastagem, a área para agricultura em cada município foi ajustada segundo a PAM, alocando a classe “Agricultura ou Pastagem” proporcionalmente entre as classes de “Agricultura” e “Pastagem”, garantindo que cada município preservasse a área de lavouras reportada pela PAM. Desse modo, foi possível estimar a cobertura vegetal, a área de lavouras e de pastagens nos municípios, tomando como referência a malha municipal brasileira de 2015.

Tabela 3.2 - Reclassificação dos produtos MapBiomias.

Classes MapBiomias	Reclassificação
Formação Florestal	Natural
Formação Savanica	
Mangue	
Área Úmida	
Natural não Florestal	
Formação Campestre	
Apicum	
Outra Formação Natural não Florestal	
Pastagem	Pastagem
Cultura Anual e Perene, Cultura Semi-Perene	Agricultura
Floresta Plantada	Silvicultura
Praia e Duna	Outras
Infraestrutura Urbana	
Afloramento Rochoso	
Mineração	
Outra Área não Vegetada	
Rio, Lago e Oceano	
Aquicultura	Agricultura ou pastagem
Não observado	
Mosaico de Agricultura e Pastagem	

Para fins de comparação, foram utilizadas oito regiões (Figura 3.1), sendo seis definidas por seus atributos ecológicos (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2004): Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal; e duas por suas características de fronteira agrícola: Amazônia Legal (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2014) e MATOPIBA, acrônimo para os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MIRANDA et al., 2014).

Figura 3.1 - Divisão das regiões adotadas para fins de comparação.



Unidades da Federação do Brasil: Acre (AC), Alagoas (AL), Amapá (AP), Amazonas (AM), Bahia (BA), Ceará (CE), Distrito Federal (DF), Espírito Santo (ES), Goiás (GO), Maranhão (MA), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Pará (PA), Paraíba (PB), Paraná (PR), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio de Janeiro (RJ), Rio Grande do Norte (RN), Rio Grande do Sul (RS), Rondônia (RO), Roraima (RR), Santa Catarina (SC), São Paulo (SP), Sergipe (SE), Tocantins (TO).

Fonte: Produção do autor.

Apesar da sobreposição espacial dessas duas regiões fronteiriças, bem como entre Amazônia e Cerrado, elas são regiões que possuem políticas e planos de desenvolvimento específicos, o que justifica a sua inclusão. A produção agropecuária nas regiões foi estimada distribuindo os dados municipais de acordo com a área de intersecção entre um município e o limite de uma região.

As tendências monotônicas de mudanças nessas classes foram analisadas com o teste de Mann-Kendall para séries temporais, usando cada município como uma série independente. Os padrões espaciais de aglomeração foram testados pelo índice global de Moran.

3.2.1 Desagregação da produção agrícola e do uso da terra

Após transformar a quantidade produzida em equivalentes nutricionais (Equação 3.1), baseado nos valores da TACO/NFNAP, a produção das lavouras e pecuária dos municípios (Equação 3.2) foi desagregada segundo os valores de cada categoria reportada nas tabelas FBS/FAO (Equação 3.3).

$$nutr_{prod} = prod * comp \quad (3.1)$$

$$nutr_{tot} = \sum nutr_{prod} \quad (3.2)$$

Onde, $nutr_{prod}$ representa a produção agropecuária em equivalentes nutricionais para todos os produtos e nutrientes em um dado município e ano; $prod$ é a produção agropecuária derivada da PAM e PPM; $comp$ é a composição nutricional dos produtos agropecuários analisados (todos os valores estão no Anexo A); $nutr_{tot}$ é a quantidade de um nutriente produzido em um município e ano a partir de toda a produção agropecuária daquele município naquele ano.

$$aloc = nutr_{prod} * FBS \quad (3.3)$$

Onde, $aloc$ são as quantidades alocadas em cada categoria da FAO por município e ano e; FBS é a fração de cada categoria descrita na FBS com relação à produção total de um determinado produto segundo a FBS.

Enquanto a produção de leite e ovos seguiu os valores indicados pela PPM, a quan-

tidade de carne bovina, suína e de frango produzida nos municípios foi estimada seguindo a Equação 3.4, aplicando ao rebanho municipal a mesma proporção de animais abatidos com relação ao rebanho nacional e considerando o mesmo o peso médio de abate nacional. Os pesos brutos de carcaça após o abate foram convertidos para porções comestíveis segundo os fatores propostos pela FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 2003).

$$Carne = rebanho_{mun} * pAbate_{nac} * \bar{x}kg_{nac} * fator_{FAO} \quad (3.4)$$

Onde, *Carne* é a quantidade de carne bovina, suína e de frango (em kg) produzida em um município em um ano; *rebanho_{mun}* é o rebanho bovino, suíno e de frango da PPM; *pAbate_{nac}* é a fração de animais abatidos em um ano com relação ao rebanho nacional (bovino, suíno e frangos); *xkg_{nac}* é o peso médio de abate dos animais por ano, segundo a Pesquisa Trimestral do Abate de Animais (peso total das carcaças dividido pela quantidade de animais abatidos) e; *fator_{FAO}* são os fatores de conversão de carcaça para porção comestível de carne bovina, suína e de frango (71%, 73% e 78%, respectivamente).

Os valores da FBS em escala nacional foram igualmente utilizadas para todos os produtos na escala municipal. Por exemplo, se a FAO indica que, no Brasil, 10% do milho foi usado como alimento e 90% destinado para ração, em um determinado ano, então toda a produção de milho de todos os municípios respeitaram essa proporção nesse determinado ano. O mesmo método foi utilizado por Santos et al. (2020), porém apenas para as sete maiores lavouras e produção de carne e leite. Esse procedimento, apesar de ser uma suposição bastante simplificada, permitiu espacializar tanto a produção quanto o uso da terra para evidenciar seus padrões gerais.

Assim como em Cassidy et al. (2013), uma série de suposições tiveram de ser feitas para alocar os nutrientes nas categorias da FBS/FAO, como, por exemplo, “outros usos” de algodão foram considerados como “fibras” (ausente da análise) enquanto a quantidade “processada” de amendoim, arroz, cevada, milho e uva foram proporcionalmente alocadas como “alimento” ou “ração”, de acordo com a proporção do uso doméstico de cada produto. As suposições para conversões estão listadas na Tabela 3.3.

A produção de óleo e etanol assumiram as proporções de soja e cana-de-açúcar que a FBS indica como “processado” e “outros usos”, respectivamente. No caso da soja, a fração da produção que foi convertida para óleo variou entre 17% e 20% na série

histórica. Para a cana-de-açúcar, a quantidade convertida para a produção de açúcar, reportado na FBS como “processado”, variou entre 10% e 13%. As quantidades de óleo e açúcar foram alocadas proporcionalmente entre “exportação”, “ração” e “alimentos” de acordo com as suas tabelas específicas.

Uma vez que a produção pecuária e nas lavouras estavam disponíveis pela PAM e PPM até 2017 e a FBS/FAO somente até 2013, no momento em que o banco de dados dessa tese foi montado, então uma modelagem das proporções das categorias da FAO foi feita para o período de 2014 a 2017, usando regressões lineares com a produção do IBGE como a variável independente e a produção da FAO, como dependente. Para minimizar os efeitos das tendências nas séries temporais e para garantir que os melhores parâmetros de regressão fossem utilizados, para cada produto foram estimados 24 modelos diferentes, cada qual com um período distinto, por exemplo, 1988-2013, 1989-2013, 1990-2013... 2011-2013, e os parâmetros do modelo com o melhor R^2 -ajustado foram usados para estimar as proporções de “alimentos”, “exportação”, “ração” etc. O R^2 -ajustado é a métrica mais adequada nesse caso, pois leva em consideração o tamanho da amostra, que foi diferente para todos os modelos. Desse modo, foi construído um banco de dados com a quantidade produzida de cada nutriente analisado em todos os anos e todos os municípios. O banco completo pode ser acessado em <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.911574> (POMPEU et al., 2020).

Tabela 3.3 - Suposições feitas para alocação de “outros usos” e “processado” da FBS/FAO.

FBS	Produto (PAM/PPM)	Alocado para	Observação
	Algodão	Fibras	
Outros usos	Batatas	Alimento	Alimento comum no Brasil. “Outros usos” representam 2% da produção no período
	Mandioca	Alimento	Alimento comum no Brasil. “Outros usos” representam 6% da produção no período
	Leite	Alimento	Queijo, iogurte e outros derivados de leite para o consumo humano
	Cana-de-açúcar	Etanol	
Processado	Amendoim		
	Arroz		
	Cevada		
	Coco	Proporcionalmente para alimento ou ração, de acordo com o uso doméstico	
	Milho		
	Uva		
	Cana-de-açúcar	Alimento	Equivalente à produção nacional de açúcar.

Para cada município foi estimada a área de alimentos, etanol e *commodities* de exportação com base no mesmo método descrito para os nutrientes, porém utilizando as áreas da PAM e não a quantidade produzida. As áreas de sementes e perdas foram distribuídas entre alimentos, etanol e exportação, de acordo com a participação daquelas categoria nesses produto. A área de ração foi alocada de acordo com os valores médios de carnes suína e de aves exportadas ou usadas para alimentos.

Já o uso das pastagens levou em conta somente o rebanho bovino e sua contribuição direta ou indireta para o sistema alimentar, bem como aquelas pastagens que foram consideradas como não integradas ao sistema alimentar por estarem ocupadas, mas com um rebanho que não é em ordenhado e nem abatido. Foi assumido que todas as vacas lactantes em um ano são ordenhadas.

O uso direto das pastagens considerou tanto os animais ordenhados nos municípios, tal como reportados pela PPM, quanto uma estimativa de animais abatidos, uma métrica ausente da PPM nessa escala. Essa estimativa foi feita de acordo com a Equação 3.5:

$$abate_{mun} = (rebanho_{mun} - ord_{mun}) * abate_{nac} \quad (3.5)$$

onde, $abate_{mun}$ é a estimativa de animais abatidos por município e ano, $rebanho_{mun}$ é o rebanho bovino total em por município e ano, ord_{mun} é a quantidade de vacas ordenhadas por município e ano, e $abate_{nac}$ é a proporção de animais abatidos no Brasil com relação ao rebanho bovino total. Assim, tanto a quantidade de vacas ordenhadas quanto de animais abatidos é preservada ao somar as quantidades municipais.

Então, o cálculo da área de pastagens diretamente utilizadas no sistema alimentar em um ano seguiu a Equação 3.6:

$$past_{dir} = \frac{(abate_{mun} + ord_{mun})}{lot_{mun}} \quad (3.6)$$

onde, $past_{dir}$ é a área de pastagens diretamente utilizada para a produção pecuária por município e ano (em hectares) e lot_{mun} é a lotação de pastagens por município e ano, calculada de acordo com a Equação 3.7:

$$lot_{mun} = \frac{rebanho_{mun}}{past_{mun}} \quad (3.7)$$

onde, $past_{mun}$ é a área final de pastagem por município e ano obtida a partir da reclassificação dos mapas do MapBiomas (em hectares).

As proporções de carne bovina para exportação foram utilizadas para calcular a quantidade de pastagens para esse fim e todo o pasto destinado para a pecuária leiteira foi considerado como área de produção de alimentos, como descrito na Tabela 3.3.

No entanto, para cada vaca ordenhada, há pelo menos outros dois animais que não estão em lactação, mas que contribuem com o sistema alimentar em anos subsequentes (CAMPOS *et al.*, 2001). Da mesma forma, há animais que não serão abatidos em um determinado ano por serem demasiado novos, mas que serão abatidos em anos subsequentes. Esses animais integram o sistema alimentar, mas não contribuem diretamente com o fornecimento de nutrientes naquele determinado ano, apesar de ocuparem as pastagens. Assim, a estimativa de pastagens de uso indireto no sistema alimentar em um determinado ano foi feita pelo mesmo método anterior, mas multiplicando o número de vacas ordenhadas por três (CAMPOS *et al.*, 2001) e o número de animais abatidos por 4,5, que é a idade máxima de abate bovino em pastagens de baixa produtividade (DIAS FILHO, 2010; DIAS FILHO, 2014). Os índices zootécnicos das pastagens com menores produtividades foram preferidos por serem mais restritivos. Como esse cálculo não se conforma às proporções municipais por conta dos fatores de multiplicação, então foram realizados apenas para as escalas nacional e regional.

A diferença entre a área total de pastagens e as áreas utilizadas direta e indiretamente foi considerada como pastagens não-produtivas, pois sua contribuição com o fornecimento de carne ou leite para o sistema alimentar é nula ou menor do que os piores índices zootécnicos de produtividade de pastagens.

Por fim, a área total de alimentos considerou toda a produção direta de alimentos das lavouras e pastagens, bem como a proporção de lavouras destinadas à ração de aves e suínos abatidos para fornecimento de carne para o mercado interno. Já a área total de *commodities* levou em conta a área direta de lavouras e pastagens para exportação, etanol e a área de ração usada para a produção de carne de suínos e aves que foi exportada. Mapas de diferença normalizada das áreas de alimentos e

commodities foram feitos para explorar as dinâmicas espaço-temporais da produção agrícola, de acordo com a Equação 3.8:

$$dn = \frac{(\textit{alimentos} - \textit{commodities})}{(\textit{alimentos} + \textit{commodities})} \quad (3.8)$$

onde, dn é a diferença normalizada entre a área total de *alimentos* e de *commodities*, variando de -1 a +1. Os valores negativos indicam que há mais área para a produção de *commodities* e valores positivos indicam maior predominância de área para a produção de alimentos. Valores próximos a zero indicam um equilíbrio de área entre as duas categorias.

Todas as operações foram realizadas em linguagem R e os mapas elaborados com o aplicativo QGIS.

3.2.2 Cenários de segurança alimentar

Após desagregar a produção agrícola nacional em nutrientes para alimentos, *commodities* de exportação e etanol, foram construídos quatro cenários de produção baseados em dietas com menores níveis de consumo de carne, a fim de avaliar quanto das necessidades nutricionais da população brasileira poderiam ser atingidas com a produção doméstica de alimentos anualmente, bem como para estimar quanta área seria necessária. Além disso, com base na projeção da população até 2060, essas estimativas também foram feitas com base na produção agrícola de 2017, considerando, assim, que nenhuma expansão da agricultura seria permitida a partir daquele ano. Esse cálculo visa estimar o impacto da limitação do uso da terra para a segurança alimentar futura. As suposições gerais de cada cenário estão na Tabela 3.4.

O primeiro cenário, sem mudanças na produção e no consumo (BAU), é a produção agropecuária no sistema alimentar tal como observada; o segundo cenário considera que não há a produção nem o consumo de carne bovina, portanto, somente as pastagens usadas direta e indiretamente para leite são consideradas, além das lavouras; o terceiro cenário, ovo-lacto-vegetariano, considera apenas ovos e leite como produtos animais, de modo que nenhuma pastagem é assumida nesse cenário e parte da ração que seria destinada à produção de suínos é proporcionalmente direcionada para alimentação humana. Por fim, o cenário estritamente vegetariano assume que nenhum produto de origem animal é produzido, portanto nenhuma pastagem é necessária, e tanto as áreas quanto os nutrientes relacionados com a produção de ração são alocados entre alimentos e exportação, seguindo as tabelas FBS/FAO.

Tabela 3.4 - Resumo das suposições feitas em cada cenário.

Cenários	BAU	Sem carne bovina	Lacto-ovo	Vegetariano estrito	
Nutrientes produzidos a partir de	Lavouras	Sem mudança	Todos os nutrientes	Todos os nutrientes mais uma fração das lavouras de ração que não seriam usadas para a produção de frangos e porcos	Todos os nutrientes mais as lavouras de ração proporcionalmente alocadas como alimentos
	Ovos	Sem mudança	Todos os nutrientes	Todos os nutrientes	Não incluso
	Leite	Sem mudança	Todos os nutrientes	Todos os nutrientes	Não incluso
	Carne bovina	Sem mudança	Não incluso	Não incluso	Não incluso
	Frango	Sem mudança	Todos os nutrientes	Não incluso	Não incluso
	Porco	Sem mudança	Todos os nutrientes	Não incluso	Não incluso
Uso da terra	Lavouras para alimentos	Sem mudança	Sem mudança	Sem mudança	Sem mudança
	Lavouras para ração	Sem mudança	Sem mudança	Sem mudança	Sem mudança
	Pastagem	Sem mudança	Somente a quantidade de pastagens para a produção de leite	Somente a quantidade de pastagens para a produção de leite	Nenhuma

Em média, 49,1% ($\pm 4,8\%$) da ração é produzida a partir do milho, seguido da soja (36,2% $\pm 11,8\%$) e da mandioca (14,1% $\pm 4,8\%$). Dentre os principais produtos alimentícios, a mandioca e o milho são os segundo e terceiro mais importantes, respectivamente, em termos de calorias para o sistema alimentar, atrás apenas do arroz. Desse modo, nos cenários vegetarianos, o milho e a mandioca são alocados principalmente para alimentos, enquanto menos de 5% da soja é alocada para alimentos.

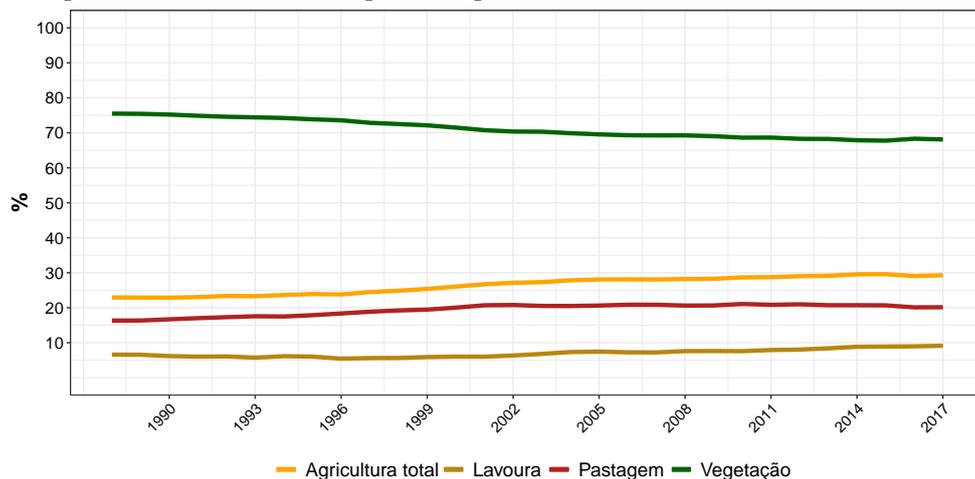
4 RESULTADOS

4.1 Panorama do uso da terra para agricultura

Enquanto a cobertura vegetal no Brasil diminuiu aproximadamente 10%, de 648 Mha em 1988 para 585 Mha em 2017, a área agrícola expandiu cerca de 33%, (de 183 Mha para 245 Mha), como mostrado na Figura 4.1. As lavouras expandiram aproximadamente 40% (56 Mha para 78 Mha) e as pastagens ganharam mais de 30% de área (127 Mha para 166 Mha). É importante destacar que as áreas de silvicultura não foram incluídas nas análises e, segundo os dados do MapBiomias, somam atualmente cerca de 6 Mha. Assim, em torno de 30% do uso da terra no país está diretamente relacionado com atividades agropecuárias.

Entretanto esse padrão não se repete regionalmente, já que o Índice Global de Moran (Figura 4.2) evidencia uma concentração espacial dos municípios com maiores proporções de cobertura vegetal e usos agrícolas. Sobretudo até 1997 houve uma tendência de maior concentração espacial da área agrícola, porém esse padrão se manteve para as áreas de lavouras enquanto as pastagens apresentaram uma leve tendência de difusão. A cobertura vegetal, ainda que bastante concentrada em certos municípios ($I = 0.80$ em 2017), tem uma evidente tendência de dispersão espacial.

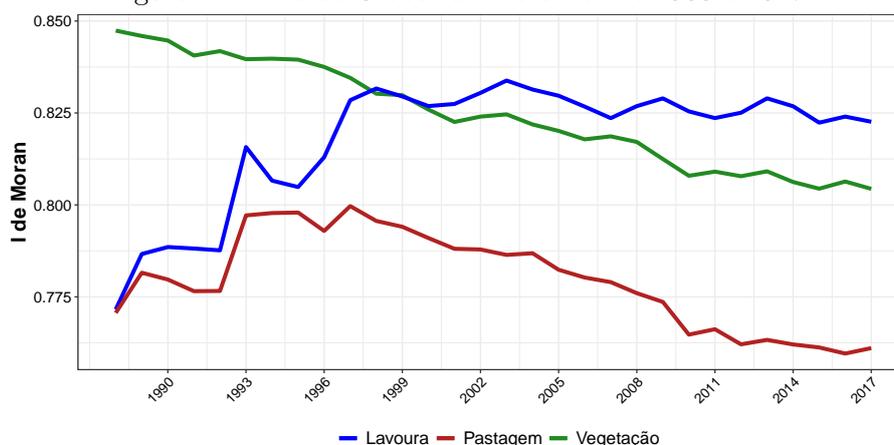
Figura 4.1 - Cobertura vegetal e agricultura no Brasil entre 1988 e 2017.



Porcentagem de área ocupada pela cobertura vegetal e usos agrícolas com relação ao território nacional. A cobertura vegetal e área de pastagens foram extraídas do MapBiomias (coleção 3.0), enquanto as áreas de lavoura foram extraídas da PAM/IBGE. Agricultura total se refere à soma das pastagens com as lavouras.

Fonte: PAM/IBGE (2018) e MapBiomias (2018).

Figura 4.2 - Índice Global de Moran entre 1988 e 2017.



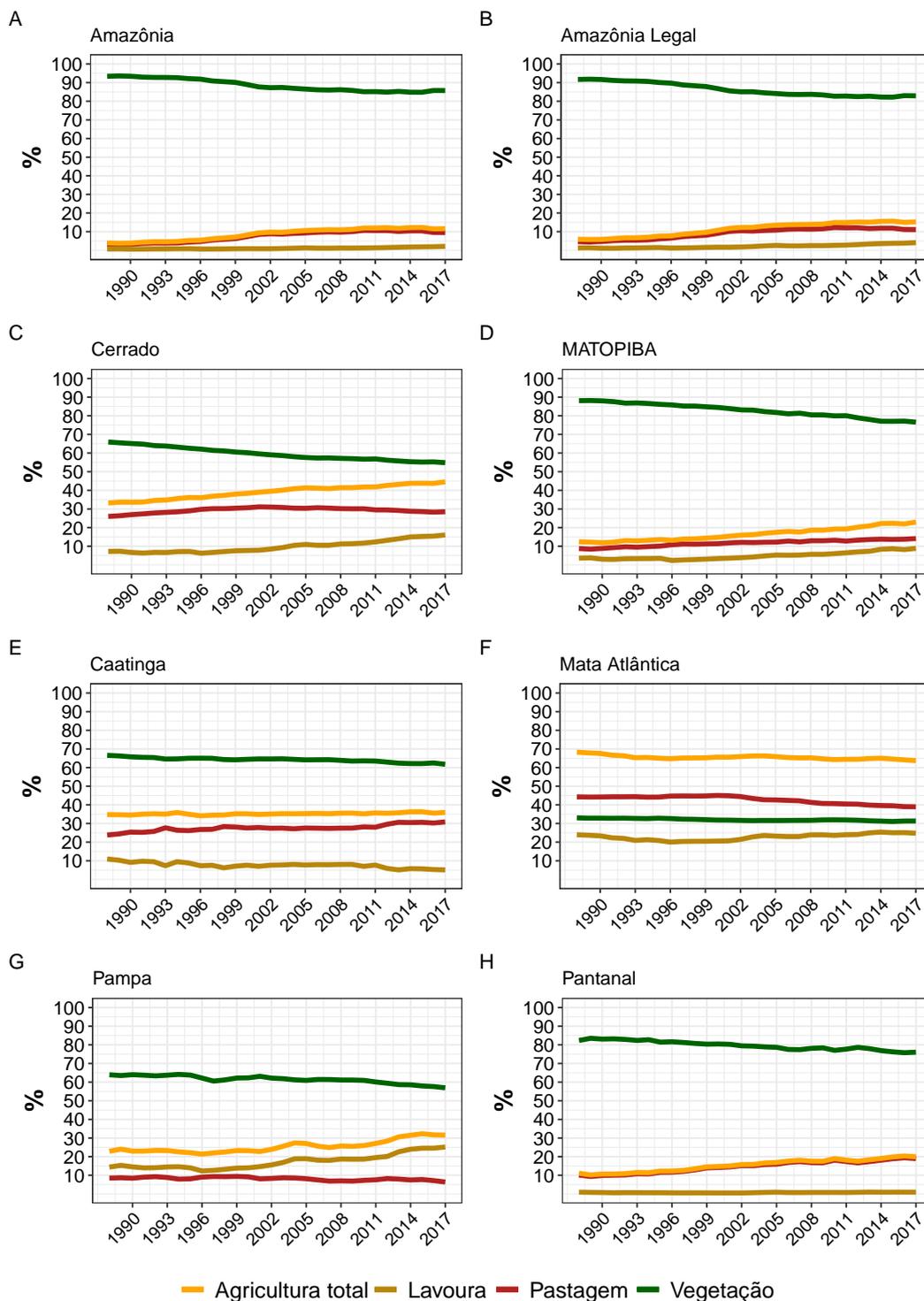
Índice Global de Moran para a proporção de vegetação, lavoura e pastagem nos municípios brasileiros. Todos os valores foram significativos com 999 permutações e pseudo- $p < 0,05$.

Fonte: Produção do autor.

A Amazônia e o Pantanal, bem como o MATOPIBA, preservam a maior proporção de cobertura vegetal dentre as regiões, cada qual com mais de 75% (Figura 4.3). Já na Mata Atlântica, devido ao seu processo histórico de ocupação, há cerca de 30% de cobertura vegetal e é a única região em que os usos agropecuários ocupam a maior porcentagem de área do território. Nas demais regiões, a cobertura vegetal na série histórica varia entre 50% e 70% da sua área. Portanto, a elevada proporção nacional de cobertura vegetal é consequência da maior quantidade de remanescentes de florestas e savanas concentrados nos municípios da porção setentrional do país, como ilustrado na Figura 4.4.

Apenas no Pampa é que as lavouras ocupam mais área do que as pastagens, o que é esperado dada a natureza da estrutura vegetal nessa região, historicamente utilizada para pastagens sem a necessidade de conversão da cobertura vegetal. O mesmo ocorre no Pantanal, onde o regime de águas impede o estabelecimento de uma agricultura de larga escala mas a cobertura vegetal permite o pastoreio. Porém, ao contrário do Pampa, no Pantanal há remoção da vegetação para estabelecimento de pastagens plantadas, que praticamente dobraram de área entre 1988 e 2017 (vide Figura 4.3H e terceira coluna da Figura 4.4).

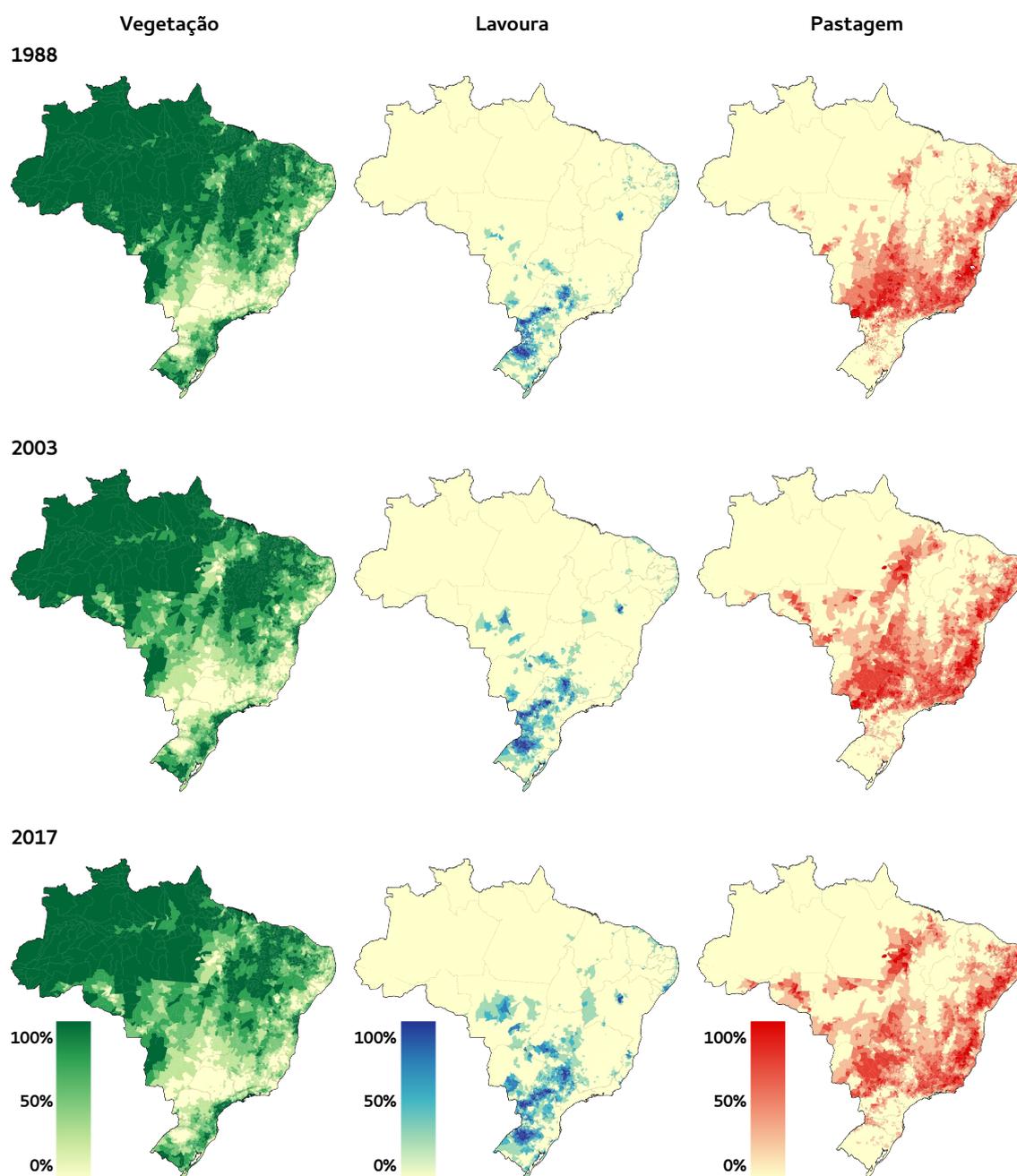
Figura 4.3 - Cobertura vegetal e agricultura nas regiões brasileiras entre 1988 e 2017.



Porcentagem de área ocupada pela cobertura vegetal e usos agrícolas com relação à área total das regiões. A) Amazônia; B) Amazônia Legal; C) Cerrado; D) MATOPIBA; E) Caatinga; F) Mata Atlântica; G) Pampa; H) Pantanal. A cobertura vegetal e área de pastagens foram extraídas do MapBiomass (coleção 3.0), enquanto as áreas de lavoura foram extraídas da PAM/IBGE. Agricultura total se refere à soma das pastagens com as lavouras.

Fonte: PAM/IBGE (2018) e MapBiomass (2018).

Figura 4.4 - Cobertura vegetal e agricultura nos municípios brasileiros em 1988, 2003 e 2017.



Porcentagem de área ocupada pela cobertura vegetal e usos agrícolas nos municípios brasileiros. Nas colunas são mostrados os usos da terra e nas linhas os anos de 1988, 2003 e 2017. A cobertura vegetal (verde) e área de pastagens (vermelho) foram extraídas do MapBiomias (coleção 3.0), enquanto as áreas de lavoura (azul) foram extraídas da PAM/IBGE.

Fonte: PAM/IBGE (2018) e MapBiomias (2018).

É possível observar na Figura 4.3B que a partir de 2012 há um crescimento da área de lavouras, acompanhada pela diminuição das pastagens na Amazônia Legal. No entanto, esse mesmo padrão não acontece na região estritamente amazônica (Figura 4.3A). Apesar de ser uma proporção ainda pequena nos gráficos, em termos absolutos houve uma expansão de 6 Mha para 21 Mha de lavouras na Amazônia Legal e esse avanço foi concentrado, em maior proporção, nos municípios da região centro-norte mato-grossense, como evidenciado na segunda coluna da Figura 4.4. Com isso, a tendência observada sugere que a expansão das lavouras na Amazônia Legal acontece nos Cerrados, porém principalmente sobre áreas de pastagens. Esse padrão de aumento das lavouras acompanhado da retração das pastagens também é evidente na região da Mata Atlântica (Figura 4.3F)

Já na Caatinga, foi observada a diminuição geral da área de lavoura, acompanhada pela expansão das pastagens sem que, no entanto, houvesse um grande processo de desmatamento. A perda líquida de vegetação entre 1988 e 2017 foi de 4 Mha (56 Mha para 52 Mha, respectivamente) que, em termos absolutos, é menor do que a própria perda de lavouras: 9 Mha para 4 Mha. Esse padrão sugere a substituição das lavouras pelas pastagens.

Em termos absolutos, o Cerrado abriga a maior área de lavouras atualmente: 33 Mha, seguido pela Mata Atlântica (28 Mha), Amazônia (9 Mha), Caatinga e Pampa (4 Mha cada). Isso representa uma expansão de 223% das lavouras naquela região desde 1988 e concentra 43% da área atual de lavouras no Brasil. Em 2000 a expansão líquida das pastagens no Cerrado se estagnou e em 2001 passou a diminuir gradualmente à uma taxa de 0,5% ao ano. No mesmo período, as lavouras expandiram em uma taxa anual de 12% e quase 10 Mha de cobertura vegetal foram convertidos para fins agropecuários. Desde 1988, o Cerrado sofreu a maior perda relativa de vegetação (20%/23 Mha), seguido pela Amazônia (9%/32,5 Mha). Um terço do desmatamento no Cerrado foi no MATOPIBA, onde a área de pastagens quase dobrou (5 Mha para 9 Mha) e a área de lavouras quase triplicou (2,4 Mha para 6 Mha). Desses 8 Mha desmatados no MATOPIBA, 30% aconteceu no período de 2012 a 2017. Assim, o Cerrado se caracteriza como a principal zona de expansão de lavouras nas últimas três décadas com destaque, no período mais recente, para a região do MATOPIBA.

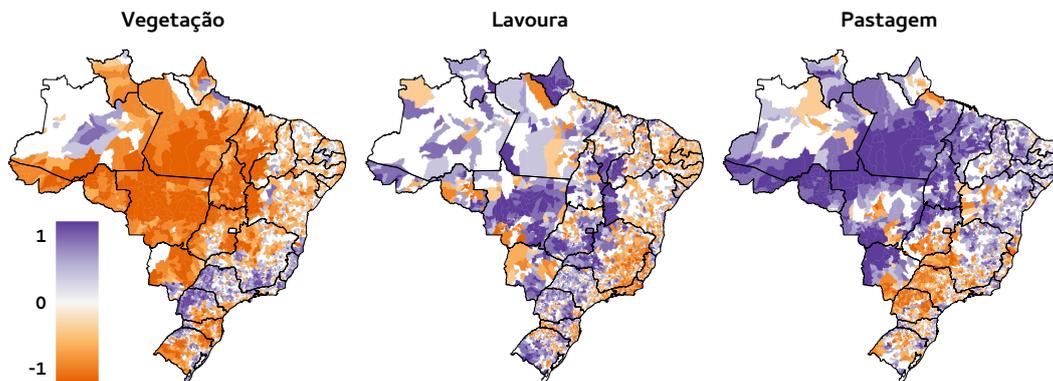
Na segunda coluna da Figura 4.4 é possível notar que a expansão das lavouras no Cerrado aconteceu em maior proporção nos municípios do oeste baiano, sudoeste piauiense, sul e norte do Mato Grosso do Sul e, como citado acima, no centro-norte do Mato Grosso. Por outro lado, os mapas indicam algumas zonas de lavouras

já consolidadas em 1988 que se mantém durante a série analisada, tais como os municípios do noroeste gaúcho, do oeste catarinense, do oeste e noroeste paranaense, do nordeste paulista, do sul do Mato Grosso do Sul, do sul goiano, do centro-norte baiano, bem como os do histórico nordeste canavieiro.

Entretanto, ainda que ocupando uma proporção de área menor, a expansão das lavouras foi significativa em aproximadamente um terço dos municípios brasileiros, como mostrado pelo teste de Mann-Kendall (Figura 4.5). Já em 38% dos municípios a área de lavouras apresentou uma tendência de diminuição e em 32% não foi detectada uma tendência monotônica significativa de expansão ou retração.

As principais zonas de expansão das pastagens estão aglutinadas no Pantanal e na Amazônia Legal, especialmente no chamado “Arco do Desmatamento” nos estados do Acre, Rondônia, Mato Grosso e Pará (terceira coluna das Figuras 4.4 e 4.5). Já a cobertura vegetal apresenta tendência de aumento somente em 29% dos municípios, concentrados principalmente em algumas partes das regiões sul e sudeste do Brasil, bem como em porções isoladas do norte e nordeste. Quase metade (46%) dos municípios apresenta tendência temporal significativa de perda de cobertura vegetal.

Figura 4.5 - Tendências monotônicas dos usos da terra nos municípios brasileiros.



Teste de Mann-Kendall para verificar as tendências monotônicas nas proporções de cobertura vegetal (esquerda), lavoura (centro) e pastagens (direita) nos municípios brasileiros. Valores positivos (violeta escuro) indicam que há uma tendência significativa de aumento, e os valores negativos (laranja) indicam uma tendência significativa de diminuição. Em branco são os municípios que não apresentaram tendências significativas ($p < 0,05$). Os índices globais de Moran para as tendências de cobertura vegetal, lavoura e pastagem, com 999 replicações e $pseudo-p < 0,05$, foram 0,70, 0,44 e 0,63, respectivamente.

Fonte: Produção do autor.

Somente no noroeste paranaense e oeste paulista houve tanto o aumento da cobertura vegetal quanto da área de lavouras, ao passo em que a área de pastagens diminuiu, sugerindo que o ritmo de expansão da agricultura também diminuiu e as pastagens estão sendo convertidas para lavouras ou para áreas de regeneração ambiental. Já no triângulo mineiro, há uma tendência de aumento das lavouras e diminuição das pastagens, sem grandes mudanças de cobertura vegetal, sugerindo a expansão das lavouras exclusivamente sobre as pastagens. Por fim, nos municípios do sul de Minas Gerais, Vale do Paraíba paulista, Rio de Janeiro e Espírito Santo também houve aumento da vegetação, porém com diminuição das lavouras e, em menor grau, das pastagens, indicando um processo de substituição das atividades agrícolas seguidas pela regeneração da cobertura vegetal.

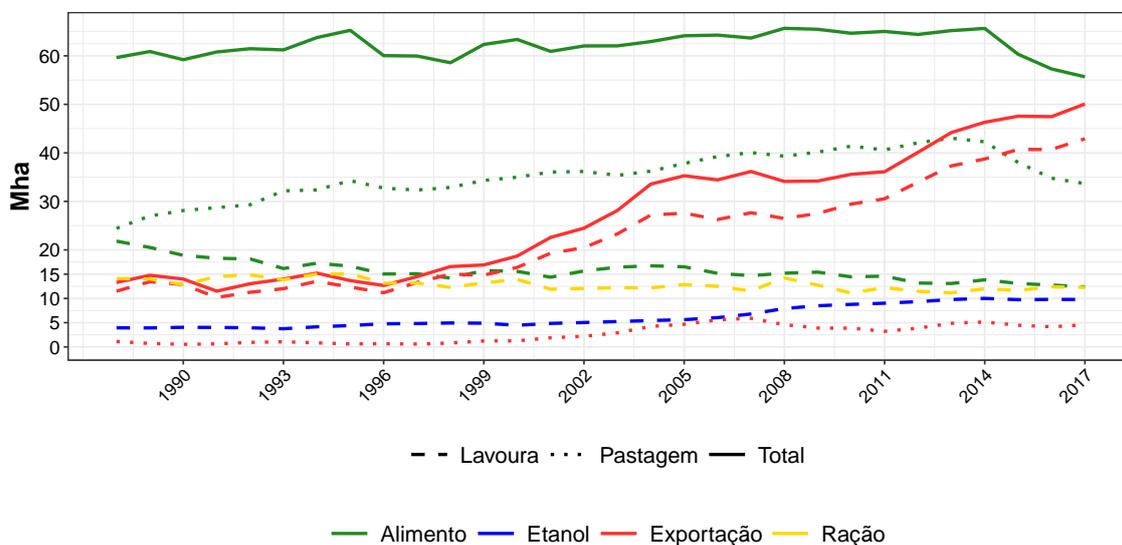
4.2 Comida ou *commodity*? Mudanças de uso da terra para produção de alimentos e outros produtos agropecuários

Após essa breve introdução sobre os aspectos gerais das mudanças espaço-temporais de uso da terra no Brasil entre 1988 e 2017, apresentada na seção anterior, serão mostradas a seguir as dinâmicas de área para produção de alimentos, bem como de outros produtos agrícolas, como matéria-prima (*commodity*) de exportação e produção de etanol.

No período de 30 anos analisado, a área média para a produção de alimentos foi de 62 Mha (± 2 Mha), com uma leve tendência monotônica significativa de expansão, evidenciada pelo teste de Mann-Kendall ($\tau = 0,315$, $p = 0,0152$). Entretanto, o aumento em 10% de área de produção de alimentos considerando o valor máximo da série (65,6 Mha em 2008) com relação ao seu início (59,6 Mha em 1988) não é suficiente para explicar o aumento da área agrícola total no Brasil entre 1988 e 2017, que foi de 62 Mha (como visto na seção anterior).

Nesse sentido, a área usada para *commodities* de exportação apresentou uma forte tendência de aumento ($\tau = 0,857$, $p < 0,001$), saltando de 13 Mha em 1988 para 50 Mha em 2017, uma expansão de 384%. Por sua vez, a área para produção de etanol cresceu 248% ($\tau = 0,903$, $p < 0,001$), para aproximadamente 9 Mha em 2017. As tendências nacionais de uso da terra desagregado são mostradas na Figura 4.6 e suas especificidades são descritas a seguir.

Figura 4.6 - Tendências de áreas para a produção de alimentos e demais produtos agropecuários no Brasil.



Área de alimentos e outros produtos agropecuários no Brasil entre 1988 e 2017 (em milhões de hectares). As linhas sólidas correspondem às áreas totais de alimentos (verde) e de *commodities* de exportação (vermelho); as linhas tracejadas são as áreas de lavoura destinadas à produção de alimentos (verde), etanol (azul), *commodities* de exportação (vermelho) e ração (amarelo); as linhas pontilhadas são as áreas de pastagens destinadas à produção de alimentos (verde) e para exportação de carne (vermelho).

Fonte: Produção do autor.

As áreas totais de produção de alimentos, exportação e etanol já consideram as perdas e produção de sementes e propágulos, tais como reportadas pela FAO. A área plantada para ração (média na série de 12,8 Mha \pm 1,1 Mha) é incorporada nos resultados de área total para alimentos e exportação, de acordo como o descrito na seção de métodos e, também, mostrada individualmente. Em 2017, 10 Mha de ração foram indiretamente usados para a produção de alimentos, na forma de ovos e carnes de aves e suínos, enquanto o restante foi para alimentar aves e suínos exportados.

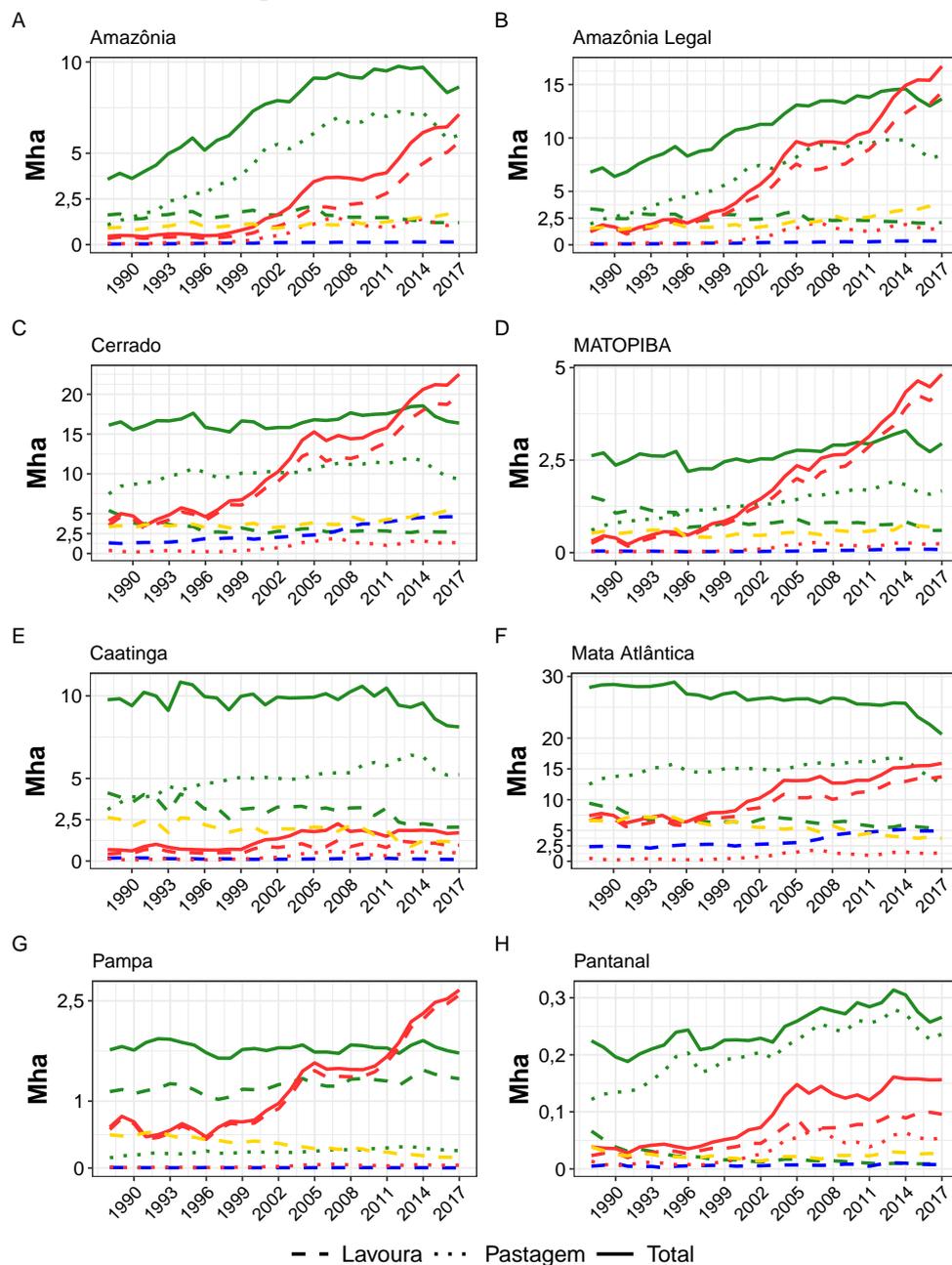
A grande expansão da área total de *commodities* de exportação é o que mais chama atenção no gráfico e é principalmente influenciada pela expansão das lavouras para esse fim (373%). Já a área plantada com lavouras para a produção de alimentos reduziu 56%, de 21,8 Mha para 12,3 Mha e, desde 2001, as lavouras para exportação ocupam mais área do que aquelas para alimentos em escala nacional. Assim, a manutenção e ligeira expansão da área de produção de alimentos é completamente influenciada pela expansão da produção pecuária nas pastagens, que aumentou de

24 Mha para 33 Mha. A redução brusca de área de pastagens a partir de 2014 (refletida na redução de área total de alimentos) é resultado da queda paulatina do número de vacas ordenhadas (redução de 25% entre 2014 e 2017). A área para ração sofreu uma pequena diminuição no período, de 14 Mha para 12,2 Mha e, em 2017, praticamente se iguala à área que é destinada à produção direta de alimentos. A área para a produção de etanol apesar de apresentar expansão, é o segundo menor uso da terra em termos absolutos, dentre as categorias analisadas, maior apenas do que as pastagens para exportação.

Apesar da tendência de diminuição, a região com maior área para produção de alimentos é a Mata Atlântica, com 20 Mha atualmente, seguida pelo Cerrado (16 Mha), Amazônia e Caatinga (8 Mha cada) e, em geral, as grandes tendências nacionais se repetem regionalmente, porém com diferentes intensidades, como mostrado na Figura 4.7. Apesar disso, o Pampa é a única região em que as pastagens não ocupam a maior parte da área de produção de alimentos, o que é esperado por conta da característica do pastoreio em campos naturais, como mencionado na seção anterior. Também é o Pampa a única região em que a área plantada com lavouras para alimentos não diminuiu, ao contrário, apresentou uma leve expansão, ainda que relativamente pequena (191 mil ha). Apenas na Amazônia Legal, com reflexo na região amazônica, é que há um aumento absoluto de grande magnitude na área de produção de alimentos (6,8 Mha), apesar de apenas 15% dessa área ser ocupada com lavouras em 2017. Assim, à exceção do extremo meridional do país, a expansão da área de alimentos em todas regiões é condicionada exclusivamente pela expansão das atividades pecuárias, acompanhadas pela retração das lavouras.

Por outro lado, a expansão da área de *commodities* de exportação é bastante relacionada com a expansão das lavouras em todas as regiões. Enquanto as lavouras de exportação aumentaram 5 Mha na Amazônia, na Mata Atlântica essa expansão foi de 7 Mha e, no Cerrado, 16 Mha, sendo 4 Mha no MATOPIBA. Em escala nacional, a área agrícola total para exportação é aproximadamente 5 Mha menor do que a área total de alimentos. Porém no Cerrado, bem como na região do MATOPIBA e do Pampa, a área total de exportação superou a de alimentos no ano de 2012 (Figuras 4.7 C, D e G). Na Amazônia Legal isso aconteceu no ano seguinte, mas bastante influenciada pela dinâmica na região de Cerrado, como evidente nas Figuras 4.7 A e B.

Figura 4.7 - Tendências de áreas para a produção de alimentos e demais produtos agropecuários nas regiões.

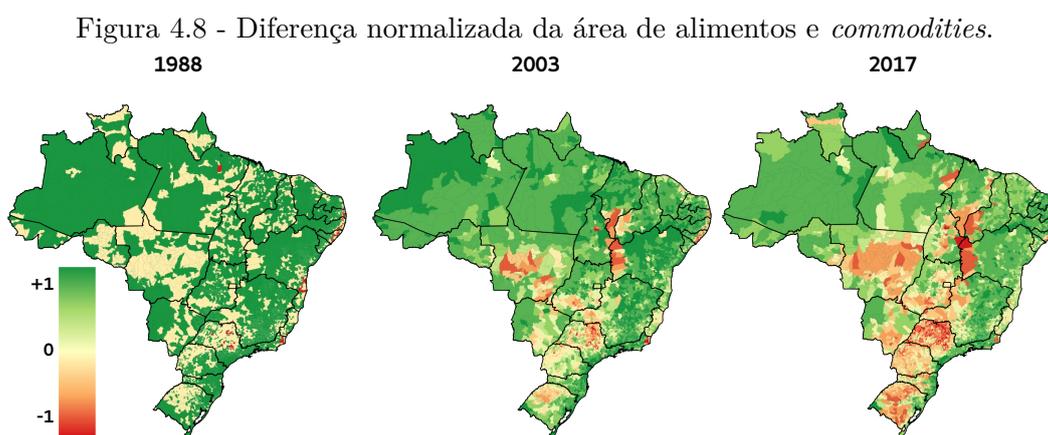


Área de alimentos e outros produtos agropecuários nas regiões (em milhões de hectares). As linhas sólidas correspondem às áreas totais de alimentos (verde) e de *commodities* de exportação (vermelho); as linhas tracejadas são as áreas de lavoura destinadas à produção de alimentos (verde), etanol (azul), *commodities* de exportação (vermelho) e ração (amarelo); as linhas pontilhadas são as áreas de pastagens destinadas à produção de alimentos (verde) e para exportação de carne (vermelho).

Fonte: Produção do autor.

Como esperado, a área de produção de etanol aumenta apenas nas regiões da Mata Atlântica (2,5 Mha) e do Cerrado (3,3 Mha), pois a maior parte da produção é concentrada no sudeste brasileiro, especialmente no noroeste paulista, triângulo mineiro e sudeste do Mato Grosso do Sul. Com isso, a área de *commodities* de exportação e etanol no Cerrado é de 24,5 Mha em 2017, ou 53% do total nacional.

As dinâmicas locais são mostradas na Figura 4.8, por meio da diferença normalizada entre a área de alimentos e a área de *commodities*. Nos mapas, quanto mais verdes os municípios, maior é a proporção de alimentos com relação às *commodities*, enquanto que os municípios em vermelho apresentam o padrão oposto. Já os municípios com áreas próximas ao equilíbrio estão amarelo claro. Por não se tratar de alimentos, a área de etanol foi somada à área de exportação. A produção de açúcar já está contemplada na área de alimentos, como descrito nos métodos. É notável que em 1988 apenas alguns municípios das regiões canavieiras de São Paulo e do nordeste, bem como alguns do extremo sul baiano e outros isolados no interior do Brasil, tinham proporcionalmente mais área para *commodities* do que alimentos. No caso dos paulistas e do nordeste canavieiro, esse padrão é influência explícita do cultivo da cana-de-açúcar.



Diferença normalizada entre a área de produção de alimentos e a área de produção de *commodities* nos municípios brasileiros em 1988 (esquerda), 2003 (centro) e 2017 (direita). Valores positivos (verde) indicam que há um predomínio de área para produção de alimentos, enquanto valores negativos (vermelho) indicam que a área de *commodities* é predominante no município. Valores próximos a zero (amarelo claro) indicam equilíbrio entre as áreas.

Fonte: Produção do autor.

Em geral, os municípios estavam em relativo equilíbrio ou tinham mais área dedicada à produção de alimentos, difusamente distribuídos no espaço (I de Moran = 0,36). Já em 2003, é possível observar aglomerados regionais de municípios que, em 2017, se consolidariam como os maiores produtores de *commodities* agrícolas (I de Moran = 0,72 e 0,77, respectivamente), concentrados no final da série histórica em 36% dos municípios brasileiros. Essa tendência de concentração espacial da expansão de *commodities* era esperada, já que a maior expansão absoluta aconteceu no Cerrado.

Até aqui, é possível afirmar que a expansão em 37 Mha das *commodities* agrícolas (43 Mha considerando a produção de etanol) apresentou a maior contribuição relativa para as mudanças de uso da terra no período analisado, frente à área para produção de alimentos, que se manteve em torno dos 62 Mha. Ainda, é importante destacar que as lavouras para alimentos vêm diminuindo constantemente e perderam aproximadamente 9 Mha no período.

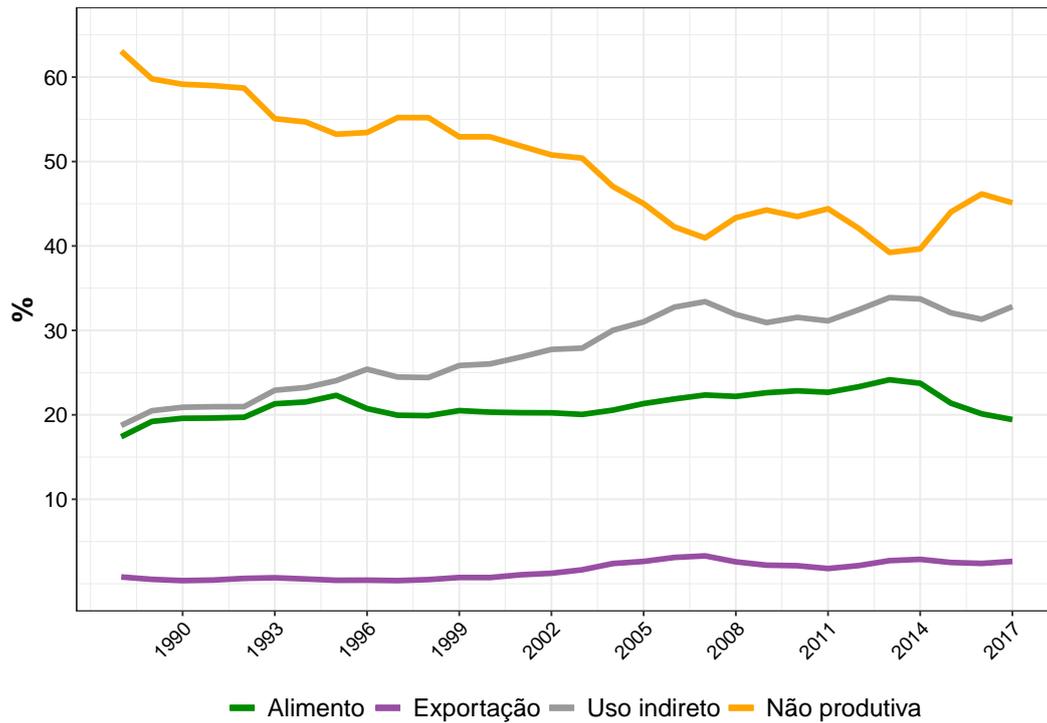
4.2.1 Pastagens não-produtivas

A soma de áreas totais de alimentos e *commodities*, que era de 76 Mha em 1988 e 115 Mha em 2017, ainda está longe (ou melhor, é menos da metade) da área agrícola total do país, que saltou de 183 Mha para 245 Mha, respectivamente (ver p. 25). Uma vez que a soma das áreas de lavouras para alimentos, exportação, etanol e ração se conforma à área total de lavouras reportadas pela PAM/IBGE, essa diferença entre a área utilizada para alimentos e *commodities* e a área agrícola total se encontra nas pastagens, que em 1988 ocupavam 127 Mha e 166 Mha em 2017.

Nesse sentido, de acordo com o método de desagregação de uso das pastagens, somente 21% ($\pm 1\%$) da área total de pastagens do país foi diretamente utilizada para a produção de alimentos ou de carne para exportação durante o período analisado, ou seja, em média, apenas 35 Mha (± 4 Mha) são ocupados com animais ordenhados ou abatidos, de acordo com a média de lotação das pastagens, como mostrado na Figura 4.9.

Porém, a área ocupada pelo rebanho indiretamente envolvido na produção pecuária também deve ser levado em conta, ou seja, aqueles animais que não foram nem abatidos e nem ordenhados naquele ano, mas que fazem parte do estoque vivo no pasto que servirão para a produção de leite e carne nos anos subsequentes. Com isso, há em média, 46 Mha (± 11 Mha) de pastagens usadas indiretamente (linha cinza na Figura 4.9), que somadas ao uso direto, correspondem a 50% ($\pm 6\%$) do total de pastagens (o que seria a somas das linhas cinza e verde na Figura 4.9).

Figura 4.9 - Percentual de uso das pastagens.



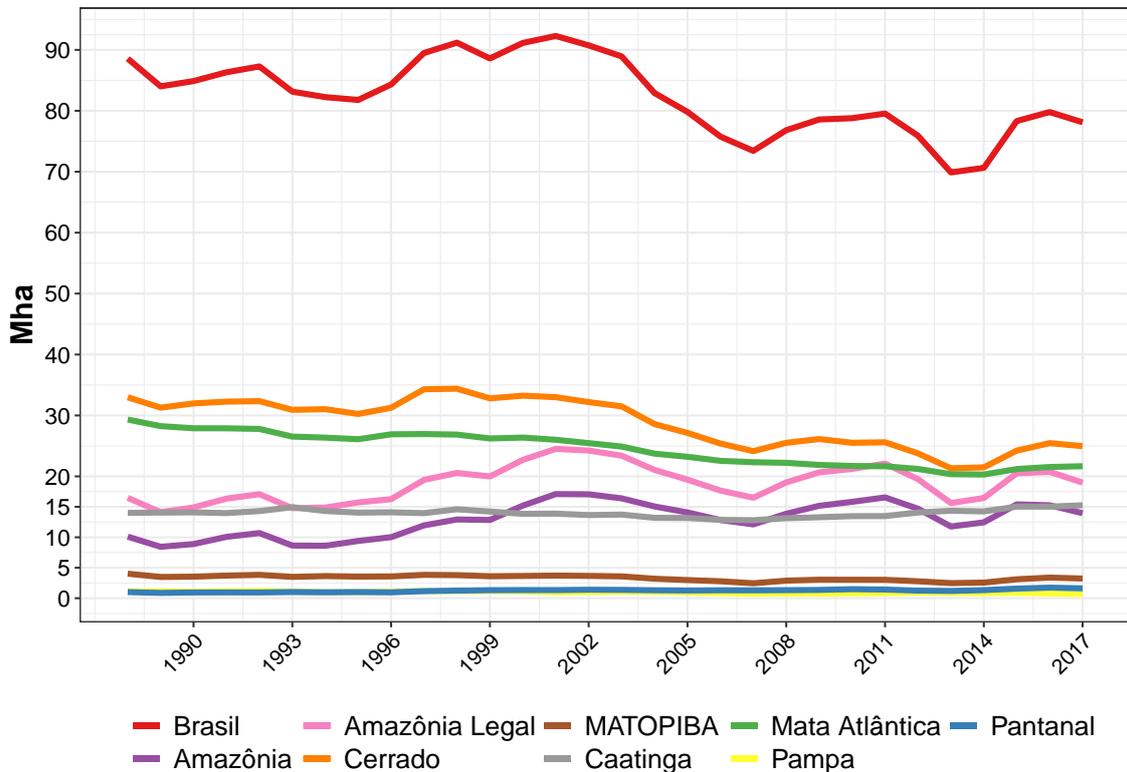
Uso das pastagens segundo a desagregação para exportação e carne bovina (roxo), produção de alimentos (verde), uso indireto (cinza) e pastagens não inseridas no sistema alimentar (amarelo).

Fonte: Produção do autor.

Portanto há em torno de 84 Mha (± 17 Mha) de pastagens não utilizados para produção nem de alimentos nem de *commodities*, o que representa 136% ($\pm 25\%$) da área média destinada para a produção de alimentos entre 1988 e 2017. Isso não significa, necessariamente, que as pastagens não estejam ocupadas ou que tenham baixa lotações, mas sim que uma parcela importante do rebanho bovino nacional não é efetivamente incorporado ao sistema alimentar em um dado ano, já que mais de três quartos dos animais não são nem abatidos nem ordenhados. Desse modo, apesar da evidente tendência de diminuição de área, resultado da intensificação, aproximadamente metade da área das pastagens no Brasil não esteve de fato relacionada com atividades produtivas, seja para o fornecimento de carne e leite para o mercado interno ou exportação de carne.

As áreas de pastagens não-produtivas nas regiões são mostradas na Figura 4.10. Há uma flutuação nacional entre 92 Mha e 74 Mha no período de 2001 a 2007, além da expansão entre 1995 a 2001, bastante influenciado pelo aumento de área na Amazônia. Já entre 2002 e 2007, a área diminuiu na Amazônia, o que, acompanhado com a retração no Cerrado e na Mata Atlântica, fez com que a área nacional diminuísse em 20 Mha. Após isso, a área de pastagens não-produtivas se estabilizou entre 70 Mha e 80 Mha, com flutuações que refletem, exclusivamente, os padrões do Cerrado e da Amazônia. Aqui, a porção sul do Cerrado, excluindo o MATOPIBA, se destaca como uma região importante de estoque de terras não incorporadas ao sistema alimentar, apesar da contínua tendência de diminuição no período analisado.

Figura 4.10 - Pastagens não-produtivas no Brasil e regiões.



Área (em milhões de hectares) de pastagens não-produtivas no Brasil e nas regiões entre 1988 e 2017.

Fonte: Produção do autor.

Assim, ao menos um terço da área de agricultura atual do país não é incorporada ao sistema alimentar, ou seja, é parte de um estoque de terras ocupadas por um rebanho ocioso e disseminadas, ainda que com diferentes proporções, em todas as regiões brasileiras. Em suma, dos 62 Mha de terras incorporadas ao sistema agropecuário nacional entre 1988 e 2017, 43 Mha (69%) foram de *commodities* para exportação e etanol e o restante foram de pastagens indiretamente ligadas à produção pecuária, uma vez que estão lotadas com animais que não foram ordenhados e nem abatidos em um determinado ano, mas que fazem parte do estoque potencialmente utilizado em anos subsequentes. A expansão absoluta dessas pastagens foi de 30 Mha, sendo 11 Mha em pastagens não-produtivas, portanto uma expansão líquida de 19 Mha.

4.3 Produção de alimentos

Após analisar a dinâmica de uso da terra para agricultura nas últimas três décadas, essa próxima seção visa mostrar a quantidade de alimentos produzidos, em termos de energia, macro e micronutrientes para o consumo humano e, em que medida, eles poderiam suprir as necessidades nutricionais da população brasileira, se adequadamente distribuídos. Todos os resultados mostrados adiante são derivados exclusivamente da proporção da produção agrícola destinada para alimentação humana, sendo excluídos todos os nutrientes perdidos no processo de pós colheita, destinados à produção de sementes, exportação ou etanol.

4.3.1 Evolução da produção de nutrientes

Foram analisados vinte macro e micronutrientes, além de energia, fornecidos pelos alimentos de origem animal e vegetal. Cada nutriente tem sua unidade (kcal, g, mg e μg) e sua ordem de grandeza específica, portanto para fins de facilitar a comparação e a visualização gráfica, na Figura 4.11A são mostradas as tendências de produção dos macro (incluindo aqui a energia) e micronutrientes (separados em vitaminas e mineiras), com relação à quantidade produzida em 1988. Já na Figura 4.11B são mostradas as proporções dos nutrientes que foram diretamente entregues ao sistema alimentar por ano¹.

Enquanto a área agrícola expandiu cerca de 33% entre 1988 e 2017, a produção média de nutrientes é quase 350% dos valores no início da série (Figura 4.11A), evidenciando um padrão de intensificação da agricultura no período. No entanto, os desvios padrão também tendem a aumentar, atingindo a marca de 196% para

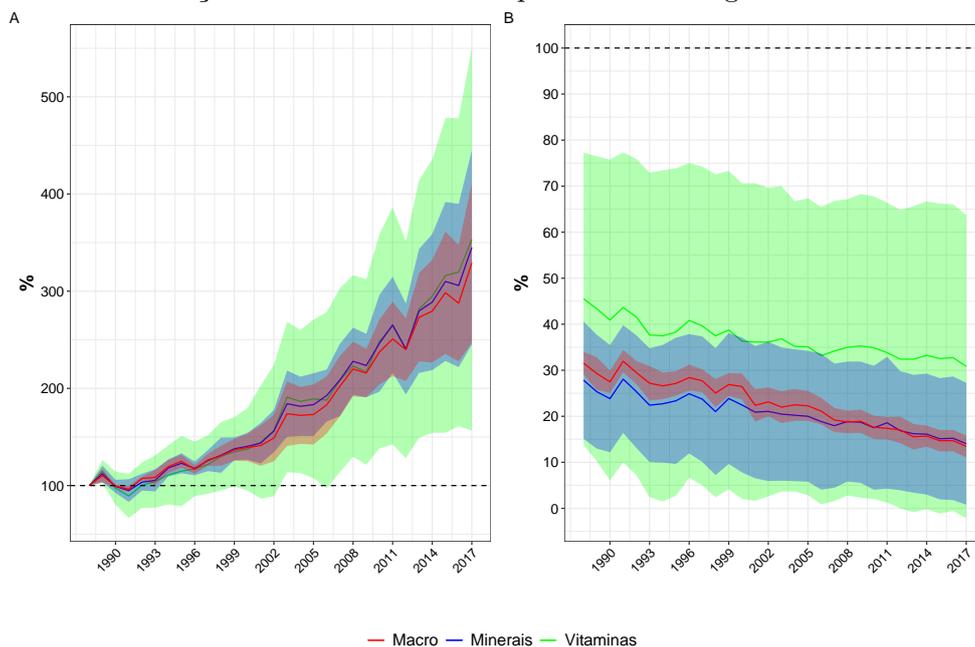
¹Os valores totais por nutriente, ano, município e categoria da FAO estão publicamente disponíveis em <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.911574>

a produção de vitaminas, indicando que o aumento da produção não foi uniforme para todos os nutrientes analisados.

Por outro lado, como mostrado na Figura 4.11B, a proporção da produção agrícola entregue ao sistema alimentar na forma de nutrientes para a alimentação humana diminuiu continuamente em todos os casos. Em média, apenas 13% ($\pm 2\%$) dos macronutrientes e 14% ($\pm 13\%$) dos minerais produzidos no Brasil atualmente são alimentos. Para as vitaminas, esse valor é de 30% ($\pm 32\%$). Isso se deve ao fato de a maior parte da produção agrícola não ser destinada direta ou indiretamente à alimentação humana, mas sim para exportação ou outros fins, como etanol. Também indica que os alimentos mais ricos em vitaminas não são, em geral, perdidos do sistema alimentar tanto como aqueles com maior conteúdo energético.

A maior contribuição nutricional dos animais criados em pastagens, dentre o universo alimentar analisado, é para a produção de Cálcio e de Vitamina A (Figura 4.12).

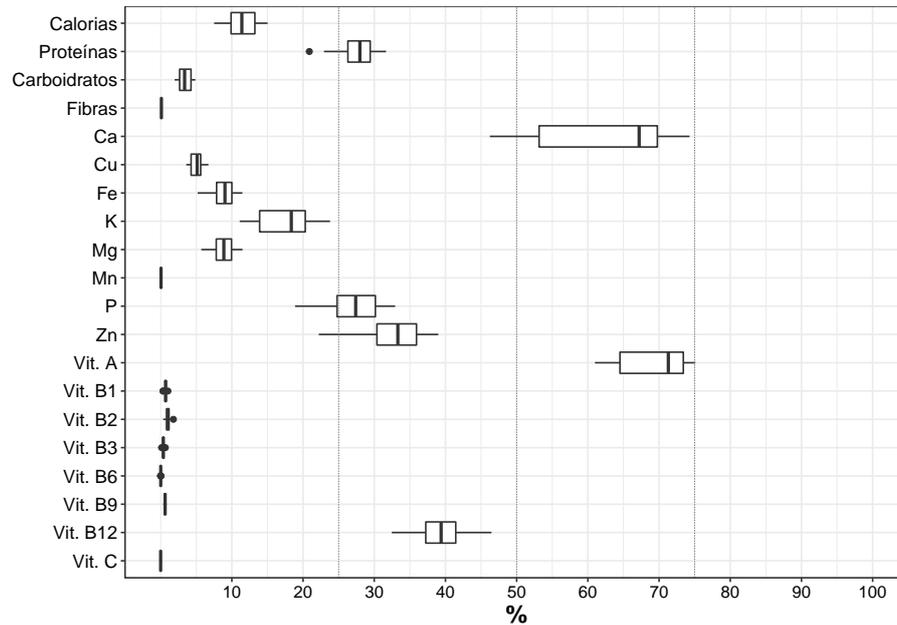
Figura 4.11 - Produção de nutrientes total e percentual entregue ao sistema alimentar.



Produção de macronutrientes (incluindo calorias) (vermelho) e micronutrientes, divididos entre minerais (azul) e vitaminas (verde). A) Percentual com relação à quantidade produzida em 1988 e B) percentual que é entregue ao sistema alimentar. Área colorida significa o desvio padrão com relação à média dos grupos.

Fonte: Produção do autor.

Figura 4.12 - Percentual de alimentos produzidos nas áreas pastagens.



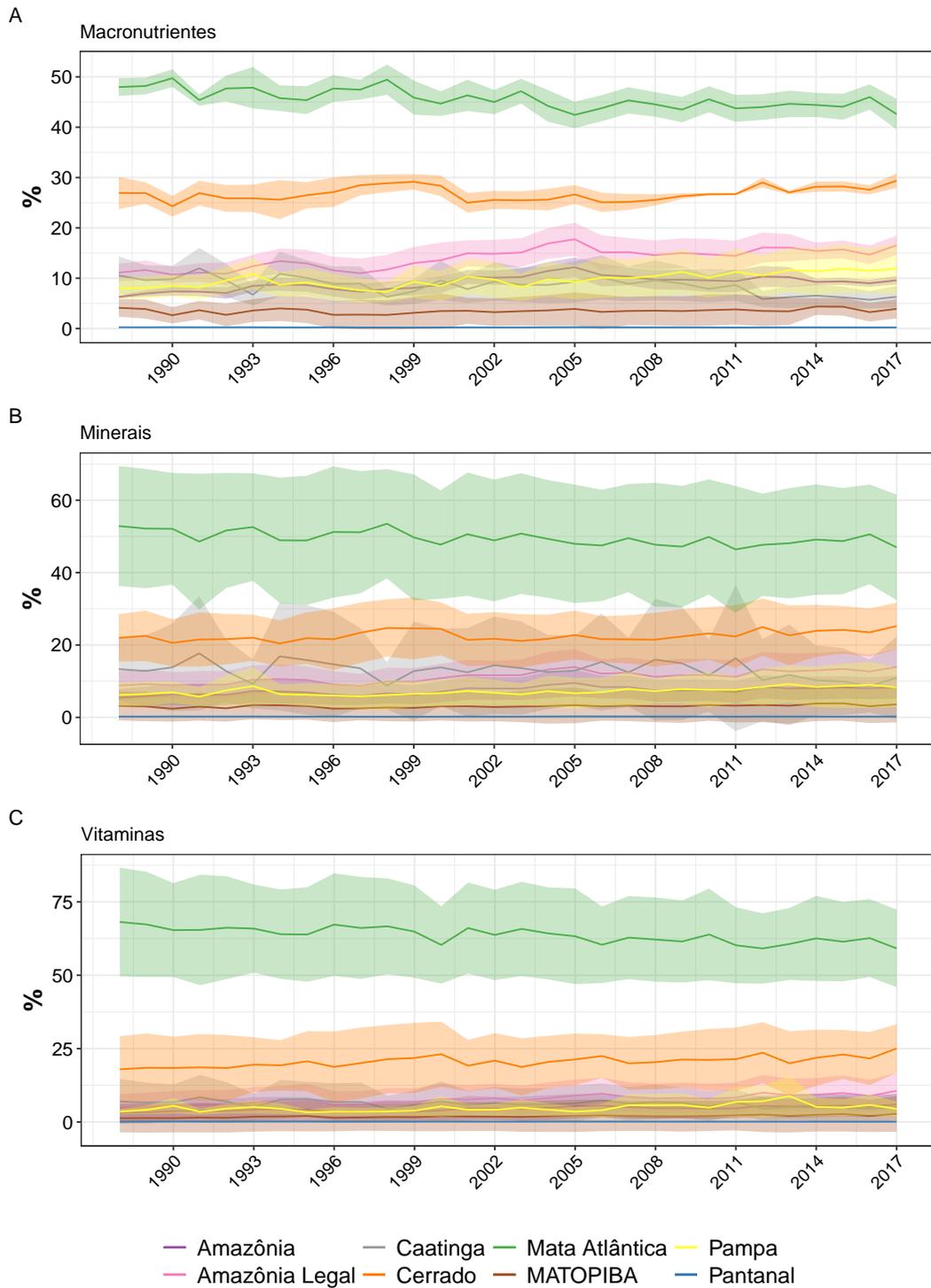
Percentual de nutrientes fornecidos ao sistema alimentar pela produção pecuária lotada nas pastagens (leite e carne bovina). Os valores dos diagramas de caixa são referentes à produção nacional entre 1988 e 2017. Linhas pontilhadas indicam 25%, 50% e 75% da produção total de alimentos. Os minerais estão nomeado pelos símbolos.

Fonte: Produção do autor.

Mais da metade desses nutrientes, bem como mais de um quarto de Vitamina B12, Zinco, proteínas e Fósforo, são provenientes da carne bovina e do leite na série histórica. Todos os demais nutrientes são majoritariamente produzidos em lavouras e animais criados em sistema de confinamento (suínos e aves), cuja área de produção nesta análise está incorporada na área plantada com ração.

A região da Mata Atlântica se destaca como a maior produtora de alimentos do Brasil em toda a série histórica, como evidenciado na Figura 4.13. Em 2017, 42% ($\pm 3\%$) dos macronutrientes e calorias, 47% dos minerais ($\pm 14\%$) e 59% das vitaminas ($\pm 13\%$) foram fornecidos ao sistema alimentar nacional por essa região, que contava com 36% da área agrícola calculada para a produção de comida. A segunda região mais importante é o Cerrado que, junto com a Mata Atlântica, foram responsáveis por 72% ($\pm 2\%$) dos macronutrientes e minerais e 84% (± 1) das vitaminas no período analisado, sem grandes variações temporais. As duas regiões somam 65% da área destinada à produção de alimentos em 2017.

Figura 4.13 - Percentual de alimentos produzidos nas regiões.



Percentual de A) macronutrientes e calorias, B) minerais e C) vitaminas fornecidos como alimentos nas regiões. Área colorida significa o desvio padrão com relação à média dos grupos.

Fonte: Produção do autor.

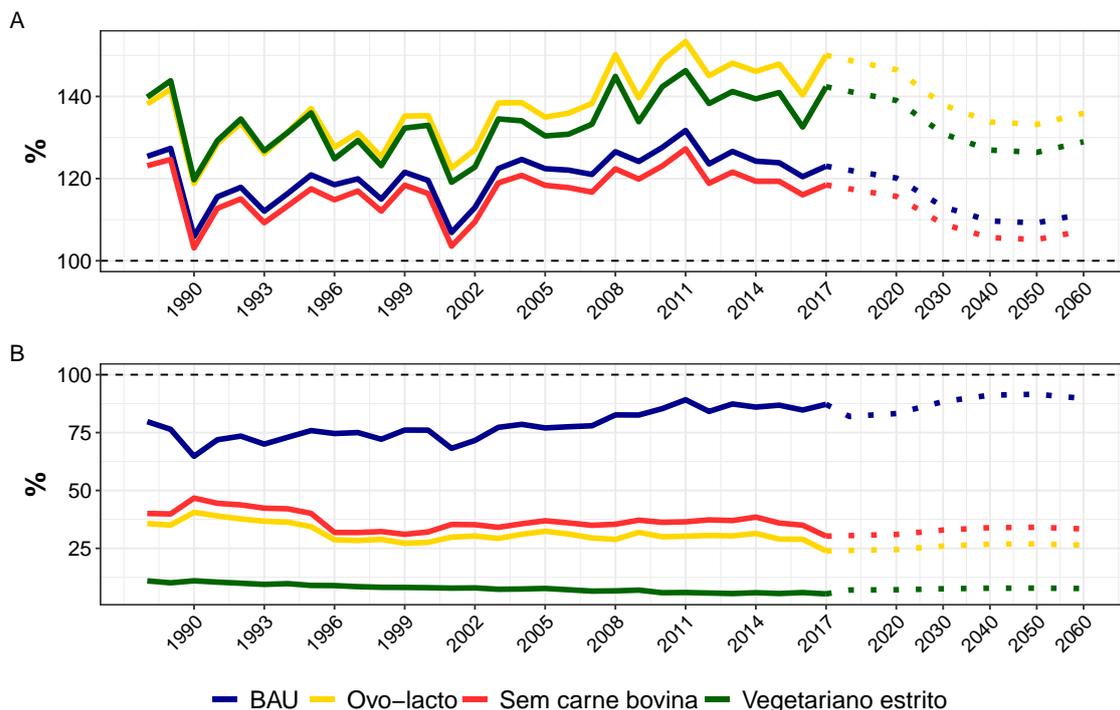
Apesar da pequena área agrícola, o Pampa é a terceira região mais importante para a produção de macronutrientes ($10\% \pm 1\%$), o que se deve majoritariamente à grande concentração da produção de arroz nessa região, um alimento rico em energia. Já a Caatinga contribui, na média do período, com $13\% (\pm 1\%)$ dos minerais, presentes em boa quantidade nos grãos como feijão, fava e, em menor grau, no milho. O Pantanal contribui com menos de $0,3\%$ da produção de alimentos, enquanto o MATOPIBA tem a segunda pior posição, com $3,5\% (\pm 0,4\%)$ dos macronutrientes, $3\% (\pm 0,3\%)$ dos minerais e $1,9\% (\pm 0,4\%)$ das vitaminas, em $4,5\% (\pm 0,3\%)$ da área de alimentos do país. Por fim, a Amazônia fornece, na média histórica, $9\% (\pm 1\%)$, $7\% (\pm 1\%)$ e $4,5\% (\pm 0,8\%)$ dos macronutrientes, minerais e vitaminas, respectivamente, em $11\% (\pm 3\%)$ da área destinada à produção de alimentos.

4.3.2 Cenários de dietas e demanda de uso da terra

A população brasileira aumentou $46,3\%$ entre 1988 e 2017, de 141 milhões para 206 milhões de pessoas, enquanto a produção agrícola mais do que triplicou no período considerando os conjuntos de nutrientes, como visto anteriormente na p. 39. Apesar disso, a participação relativa dos alimentos no total produzido vem diminuindo continuamente. Desse modo, com base nas recomendações de ingestão diária de nutrientes, foram elaborados quatro cenários de demanda de nutrientes e uso da terra para avaliar em que medida e até quando a produção doméstica de alimentos poderia suportar o crescimento da população brasileira, sem expansão da agricultura. Assim, os cenários, descritos em detalhes na Tabela 3.4, consideram a produção de 2017 como base para as projeções até 2060, e somente levam em conta um gradiente de diminuição de produtos de origem animal na alimentação humana.

Em geral, em todos os cenários, a produção de calorias e de Vitamina A foram os maiores limitantes para suprir as demandas alimentares da população, ou seja, a disponibilidade energética e vitamínica é suficiente para alcançar as necessidades diárias recomendadas de um número menor de pessoas do que a disponibilidade dos demais nutrientes. Além disso, a produção de Vitamina B12 também é bastante limitante nos cenários que consideram nada ou a menor quantidade de produção e consumo de alimentos de origem animal. De modo que a quantidade de todos os outros nutrientes excede esses citados em todos os cenários, a Figura 4.14 mostra a proporção da população potencialmente alimentada e a respectiva demanda de terra, levando em conta apenas as calorias, para possibilitar a comparação entre as dietas com a melhor visualização gráfica. Contudo, os percentuais por décadas para todos os nutrientes, em todos os cenários, são encontrados no Anexo B.

Figura 4.14 - Cenários de dietas e demanda de uso da terra.



A) Percentual da população potencialmente alimentada com as calorias alocadas para alimentos em cada cenário e B) percentual área agrícola necessária para suprir os requisitos energéticos da população em cada ano, projetada pelo IBGE. As linhas pontilhadas representam as projeções futuras de população, com base na produção agrícola de 2017 em 245 Mha. Cenário BAU (azul) não considera mudanças na produção; sem carne bovina (vermelho) não considera a produção e consumo de carne bovina; ovo-lacto (amarelo) considera a produção e consumo apenas de ovo e leite dentre os alimentos de origem animal; e estritamente vegetariano (verde) não considera nem o consumo e nem a produção de alimentos de origem animal.

Fonte: Produção do autor.

Na Figura 4.14A são mostrados os percentuais da população brasileira potencialmente alimentada ente 1988 e 2060 nos diferentes cenários de dietas e, na Figura 4.14B, as respectivas demandas de uso da terra.

Em todos os cenários, a quantidade de alimentos produzida no Brasil entre 1988 e 2017 sempre foi maior, ou virtualmente equivalente, ao necessário para suprir a demanda energética da população. Ainda, a quantidade de alimentos produzida em 2017, se mantida anualmente, sem alterações de produtividade e área, poderia suprir as necessidades futuras até 2060.

Ao comparar a população alimentada e a demanda de área nos cenários sem mudança

(BAU) e sem carne bovina (linhas azul e vermelha na Figura 4.11, respectivamente), é possível notar que a carne bovina contribui com uma quantidade relativamente pequena de calorias, bem como de nutrientes (vide Anexo B e Figura 4.12, porém nesta figura o leite também é considerado) mas, por outro lado, sua produção ocupa a maior parte das terras. Desse modo, um sistema alimentar sem pecuária de corte não significaria uma diminuição de grande magnitude para a disponibilidade de alimentos mas, dadas as suposições desse cenário, poderia reduzir o uso da terra para menos da metade do atual.

Por sua vez, um cenário ovo-lacto vegetariano não representaria grandes mudanças de quantidade de uso da terra com relação ao cenário com carnes suína e de aves (linhas amarela e vermelha na Figura 4.11, respectivamente). No entanto, o direcionamento de uma parcela maior da produção das lavouras diretamente para alimentação humana, ao invés de alimentação animal, poderia aumentar a quantidade de pessoas potencialmente alimentadas em 20% ($\pm 5\%$), na média histórica.

Já no cenário estritamente vegetariano, somente considerando a produção de alimentos nas lavouras e em uma parcela das lavouras que são cultivadas para ração animal, cerca de 17 Mha seriam suficientes para alimentar a população brasileira em 2017. Isso corresponde a 34% da área de lavouras para exportação naquele ano e 7 Mha a menos do que a soma da área de lavouras destinadas diretamente para alimentação humana e ração animal. Nesse caso, 3,4% ($\pm 3\%$) pessoas a menos poderiam ter suas necessidades energéticas atendidas com relação ao cenário ovo-lacto, mas ainda assim significaria 133% ($\pm 7\%$) da população brasileira na série histórica.

Em todos os cenários, os macronutrientes (excluindo a energia) são suficientes para pelo menos 140% da população e chegam a mais de 700% no caso dos carboidratos. Para os minerais, os menores valores variam de 108% a 130% no caso do cálcio em 1990 e 2000 no cenário estritamente vegetariano, chegando a até 800%, no caso do ferro em 2060 no mesmo cenário. Já a produção das vitaminas do complexo B, com exceção da Vitamina B12, é suficiente para mais de 1000% da população em todos os cenários, enquanto a Vitamina C é suficiente para mais de 180%, no pior dos casos.

Entre 1988 e 2003 nos cenários sem mudanças (BAU) e sem produção de carne bovina, o nutriente mais limitante no universo alimentar analisado foi a Vitamina A, que somente nos três primeiros anos da série e em 1993, não poderia atender às demandas da totalidade da população (98%). Nos demais anos, a quantidade produzida desse nutriente sempre pôde suprir toda a demanda e entre 2003 a 2017,

sua produção aumentou rapidamente, podendo atingir as necessidades nutricionais de 106% a 131% da população, respectivamente, com um pico de 137% em 2014. A partir de 2003, a quantidade energética foi mais limitante do que qualquer outro nutriente em ambos os cenários e, ainda assim, seria suficiente para atender os requisitos calóricos de, ao menos, 120% da população brasileira até 2017.

Já nos cenários vegetarianos (ovo-lacto e estrito), a vitamina A é mais limitante do que a energia em toda a série. Apesar disso, no cenário que inclui a produção de ovos e leite, a vitamina A só não seria suficiente para toda a população no início da série (96%), mas chega a 120% entre 2010 e 2020. Isso não ocorre no cenário sem produção animal, onde a vitamina A seria suficiente para suprir entre 40% e 46% das recomendações nutricionais, evidenciando a importância dos produtos de origem animal, nesse caso principalmente dos ovos e leite, para o fornecimento desse nutriente, dentro o universo alimentar analisado. Em nenhum desses cenários, porém, a produção de vitamina B12 atenderia à demanda populacional integralmente, variando de 65% a 99% da população no caso ovo-lacto e de 4% a 10% no caso estrito.

Diante do exposto, é possível afirmar que, nas últimas três décadas, a produção agropecuária brasileira seria suficiente para promover a segurança alimentar, considerando a distribuição equilibrada dos alimentos. Além disso, a expansão da agricultura não é necessária para nutrir a população projetada até 2060, se mantendo os níveis de produção observados em 2017. Por fim, as pastagens se configuram como o uso da terra mais ineficiente do ponto de vista da produção de alimentos, sendo que sua redução para menos da metade traria impactos marginais à segurança alimentar, mesmo sem levar em conta a possibilidade de intensificação da produção pecuária.

4.4 Avaliação e comparação dos resultados com a literatura

Em primeiro lugar, foi feita uma análise de acurácia da classe de agricultura do MapBiomass, tomando como referência a área de lavouras reportada pela PAM/IBGE, em todos os municípios, por meio da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), considerando a PAM como os valores observacionais. As diferenças gerais variam de 31% em 1988 a 15% em 2017. Ainda, a proporção da classe “Agricultura ou Pastagem” no MapBiomass diminui com o tempo, possivelmente devido às melhores amostras e dados dos anos mais recentes, se comparados com aqueles de trinta anos atrás. Os mapas foram ajustados aos valores da PAM, desagregando essa classe de “Agricultura ou Pastagem”, assumindo as áreas da PAM como referência.

A agricultura total derivada do MapBiomas era de 29,5% do território nacional em 2017 (251 Mha), enquanto aqui foi estimado, baseado tanto na PAM quanto MapBiomas, que as pastagens e lavouras ocupavam 19,5% e 9,1% da área do país, respectivamente. De acordo com CASTRO et al. (2018), a área agrícola total soma 30,2% enquanto as lavouras 9,0% e as pastagens 21,8%, portanto, muito próximos aos valores dos mapas ajustados aqui para o ano de 2017. Ainda, as estimativas de pastagens usadas nessa tese foram comparadas com o Atlas Digital das Pastagens Brasileiras², do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), uma das bases de dados do MapBiomas. Em média, entre 1988 e 2017, as estimativas de pastagens usadas aqui são 4,5% menores do que as mapeadas pelo LAPIG.

Dias et al. (2016) afirma que a lotação das pastagens era 0,89 UA/ha (Unidade Animal por hectare) em 1990 e 1,36 UA/ha em 2010, enquanto a estimativa usada aqui é de 1,09 UA/ha em 1990 e 1,21 UA/ha em 2010. Embora os dados de rebanho sejam os mesmos, derivados da PPM, os mapas de pastagens usadas por Dias et al. (2016) foram obtidos das frações de não-floresta de dados Landsat de 2000 a 2012 (HANSEN et al., 2013), o que explica o valor muito mais baixo encontrado em 1990 (0,89), quando comparam o rebanho daquele ano com o mapa de uso da terra de 2000. Segundo o atlas do LAPIG, o ano de 2000 tinha 30 Mha a mais de pastagens do que em 1990. Então, ao dividir o rebanho de 1990 (147 milhões de cabeças) pelo mapa de 2000 usado aqui (165 Mha), exatamente o mesmo valor de lotação é encontrado: 0,89 UA/ha. Ainda, Dias et al. (2016) estima uma área agrícola de 220 Mha no Brasil em 2012, das quais 70% eram pastagens. Essa estimativa é 20 Mha menor do que a apresentada pelo MapBiomas, mas a proporção de pastagens é muito parecida com a encontrada no MapBiomas, de 71,2% em 2012.

Como as estimativas de área de lavouras e de rebanho são derivadas da PAM e da PPM do IBGE, as mesmas áreas e tendências são encontradas para as principais culturas, bem como para o rebanho, em Martinelli et al. (2010b), que também usaram a fonte de dados do IBGE para análise dos impactos, custos e oportunidades para a sustentabilidade da agricultura brasileira.

Zalles et al. (2019) reportam um aumento das áreas de lavoura para *commodities* no Brasil de 26 Mha em 2000 para 46,1 Mha em 2014. Já os resultados obtidos aqui são de 16 Mha em 2000 e 38 Mha em 2014. Os valores mais altos se devem à cultura do milho ser considerada naquele estudo como uma *commodity* de exportação, enquanto

²<https://pastagem.org/atlas/map>

a FAO reporta que cerca de 10% é para alimentos diretos para o consumo humano e cerca de 70% na média histórica para ração que, nesse estudo, foi considerado como retornando para o sistema alimentar.

Por fim, foi usado a ADER de 2450 kcal/pessoa/dia nas estimativas de requisitos energéticos para a população, que é o maior valor recomendado pela FAO para o Brasil para eliminar a fome, se os alimentos fossem devidamente distribuídos. De acordo com [Borlizzi et al. \(2017\)](#), o consumo médio calórico no Brasil é de 2505,55 kcal/pessoa/dia, um número inflado pelos dois maiores decis de renda, que constituem menos de 1% da população ([NERI, 2014](#)). O primeiro decil (40% da população) consome em média 2171,37 kcal/pessoa/dia, enquanto o décimo decil (<1% da população) consome, em média 3251,69 kcal/pessoa/dia. Considerando os oito primeiros decis (99% da população), o consumo médio nacional de calorias é de 2442,5 kcal/pessoa/dia. Portanto, foi considerado que o valor de ADER recomendado pela FAO é uma boa representação do consumo energético médio da população brasileira.

5 DISCUSSÃO

A promoção da segurança alimentar sem aumentar a pressão de uso da terra sobre os ecossistemas é apontada pela comunidade científica como um dos maiores desafios ambientais deste século (GODFRAY et al., 2010; SMITH, 2018). Historicamente, a expansão das atividades agrícolas foram o maior fator de conversão da cobertura vegetal nos trópicos (GIBBS et al., 2010), portanto, dentre as várias medidas apontadas por especialistas para minimizar o impacto ambiental da agricultura, uma das principais é a limitação da sua área (SMITH, 2013; WEST et al., 2014; ZABEL et al., 2019). Apesar disso, a tendência brasileira nas últimas três décadas vai exatamente no sentido oposto, já que a área agrícola expandiu 33%. Além disso, mais recentemente, o enfraquecimento das leis ambientais e a redução do orçamento público para ações de preservação, em conjunto com incentivos para a agricultura, resultaram em um aumento paulatino das taxas de desmatamento desde 2012, sobretudo na Amazônia, com o pico histórico da década alcançado em 2019 (BRANCALION et al., 2016; FERRANTE; FEARNSIDE, 2019; PEREIRA et al., 2019; RAUSCH et al., 2019; PRODES, 2020).

Mesmo com o exitoso esforço institucional para diminuição do desmatamento ilegal no Brasil, iniciado na primeira década desse século, que evidenciou a importância das políticas públicas para a preservação ambiental e intensificação da agricultura (ASSUNÇÃO et al., 2015; GARRETT et al., 2018), a ideia de expansão da área agrícola sempre persistiu no ambiente político nacional, por vezes sob o argumento de garantir a produção de alimentos (GOEDERT, 1989; MACEDO, 1995; MARTINELLI et al., 2010a; FEARNSIDE, 2016; METZGER et al., 2019). Assim, o exposto nessa tese deve contribuir cientificamente com o debate sobre expansão da agricultura e a segurança alimentar no Brasil, pois foi mostrado que apesar de possuir 30% do território sob uso agropecuário, a produção de alimentos para consumo humano direto acontece, na média histórica, em apenas 22% dessa área. Em 2017, 55 Mha eram destinados à produção de alimentos, dos quais, 60% eram pastagens. No mesmo ano, a área para exportação foi de 50 Mha e a de etanol 9 Mha, enquanto as pastagens indiretamente relacionadas com a produção pecuária ocupavam 56 Mha e aquelas que não tinham nenhum tipo de contribuição para o sistema alimentar somavam quase 80 Mha.

Nesse sentido, a intensificação das pastagens é comumente citada como uma forma de aumentar a área possível para a produção agrícola, bem como para diminuir pressão por novas áreas e para mitigar os impactos climáticos da pecuária (MARTINELLI et al., 2010a; COHN et al., 2014; CARDOSO et al., 2016; SANTOS et al., 2020), contri-

buindo para a conservação da cobertura vegetal ao passo que aumenta a produção (STABILE et al., 2020). Além disso, também é vista como uma oportunidade no caso da recuperação de pastagens degradadas, que abrangem cerca de 70% das pastagens no país (DIAS FILHO, 2014). Apesar da intensificação da pecuária brasileira ser um fato observado nas últimas décadas (DIAS et al., 2016; MCMANUS et al., 2016; BRUM et al., 2019), evidenciado aqui pelo aumento relativo das pastagens de uso indireto, ainda não é suficiente para evitar que quase metade da área de pastagens não esteja de fato integrada ao sistema alimentar. Assim, a intensificação pecuária e a expansão das lavouras nessas pastagens, que ocupam 36% mais área do que a produção de alimentos atualmente, poderia ser indicada como uma forma de conter a expansão da agricultura sobre áreas ainda não desmatadas.

Essa proposta, plausível à primeira vista, não leva em conta toda a complexidade da cadeia produtiva, da concessão de créditos agrícolas e do regime de propriedade de terras no país. De modo que a intensificação da pecuária é uma estratégia para viabilizar economicamente a produção (NOVO et al., 2013; MÜLLER-HANSEN et al., 2019) e que, especialmente em áreas de fronteira agrícola, as pastagens são uma forma barata e fácil de manutenção da posse das terras para especulação (BOWMAN et al., 2012), não há evidências de que o simples aumento da produtividade das pastagens possa impedir as conversões de uso da terra, assim como demonstrado por Kreidenweis et al. (2018). Dessa forma, limitar a expansão do uso da terra não depende apenas da intensificação da agricultura, sobretudo das pastagens ineficientes, mas de políticas efetivas de conservação, monitoramento do desmatamento ilegal, a resolução dos conflitos históricos de posse desigual da terra e revisão do formato da concessão de créditos agrícolas (ASSUNÇÃO et al., 2013; BARRETTO et al., 2013; ARIMA et al., 2014; LAPOLA et al., 2014; MERRY; SOARES-FILHO, 2017; SPAROVEK et al., 2019). Portanto, somente políticas específicas para contenção da especulação de terras em regiões fronteiriças, bem como de melhoria e recuperação das pastagens, poderiam ter um efeito positivo na incorporação dessas pastagens não-produtivas ao sistema alimentar, ao passo que impede o estabelecimento de novas áreas com essas características.

Ainda assim, a expansão das lavouras sobre áreas de pastagens é um processo de fato observado no Brasil, como no caso da cana-de-açúcar, principalmente no sudeste e no Goiás (SPAROVEK et al., 2009; RUDORFF et al., 2010; SPERA et al., 2017). Segundo Alkimim et al. (2015), 50 Mha de pastagens teriam potencial de serem usadas para o cultivo da cana no país, diminuindo a pressão direta do etanol sobre a cobertura vegetal. Entretanto, essa expansão contribuiu para mudanças indiretas

de uso da terra de diferentes intensidades e em diferentes regiões (FERREIRA FILHO; HORRIDGE, 2014; BERGTOLD et al., 2017), que inclusive podem anular o benefício climático do etanol como biocombustível, no que diz respeito à redução de emissões de gases de efeito estufa (LAPOLA et al., 2010). Outro exemplo de expansão de lavouras sobre áreas de pastagens é o da soja no Mato Grosso após a implementação do PPCDAm e da moratória da soja (GOLLNOW; LAKES, 2014; PICOLI et al., 2020). Os resultados apresentados aqui indicam uma redução das pastagens associado com o aumento das lavouras, principalmente de *commodities*, em regiões coincidentes com a expansão da cana em São Paulo (exceto no Vale do Paraíba), triângulo mineiro, sul de Goiás e sul do Mato Grosso do Sul (Figuras 4.5 e 4.8), bem como da soja na região centro-norte do Mato Grosso, portanto em concordância com o encontrado na literatura. Desse modo, em conjunto com as medidas citadas anteriormente, seria desejável que os futuros incentivos para expansão da agropecuária focassem exclusivamente nas áreas de pastagens não-produtivas, pois a área já aberta e não usada efetivamente é maior do que a área para alimentos ou *commodities*.

No entanto, a expansão absoluta das *commodities* de exportação e da cana para etanol correspondem a 69%, ou 43 Mha, do incremento de área agrícola ocorrido no Brasil entre 1988 e 2017, que foi de 62 Mha. Pesquisas futuras são necessárias para compreender qual a dimensão das mudanças indiretas de uso da terra em outras regiões causadas por essa expansão, mas o que se pode afirmar com os resultados obtidos aqui é que 45% da expansão de *commodities* e cana ocorreram somente no Cerrado, que em 2017 abrigava 24,5 Mha de terras para esses fins, contra 4,8 Mha em 1988. Outros 22% de expansão ocorreram na Mata Atlântica e um terço no restante das regiões. Ao contrário do observado na Mata Atlântica, onde as lavouras expandem principalmente sobre pastagens, no Cerrado a cobertura vegetal diminui ao passo em que a área de lavouras de *commodities* aumenta. Foram 22 Mha de vegetação convertidos no Cerrado nos trinta anos analisados, 10 Mha a menos do que na Amazônia. Da mesma forma como no Cerrado, a tendência de expansão das *commodities* com redução das pastagens e da cobertura vegetal também foi observada no Pampa, porém com uma magnitude muito menor: 1 Mha de conversão da vegetação e de perda de pastagens, com 2 Mha de incremento da área de *commodities*. Esse resultado está de acordo com Oliveira et al. (2017), que mostraram a redução da cobertura vegetal acompanhada do aumento das áreas agrícolas, principalmente entre 1995 e 2005.

Para Rada (2013), foi o aumento da produção agrícola no Cerrado que contribuiu para que o Brasil fosse um dos principais competidores no mercado internacional

de *commodities* agrícolas. Por outro lado, a expansão da agricultura é a principal causa da perda dos solos no Cerrado, com impacto direto sobre a produtividade das lavouras, que podem levar à perdas econômicas significativas nas áreas de solos mais degradados (GOMES et al., 2019). Assim, a busca por melhores solos e maior produção ainda pode resultar na conversão legal de 38 Mha de Cerrado, dos quais 8 Mha apresentam alta aptidão para a expansão da soja (RAUSCH et al., 2019), a lavoura que mais ocupa área no Cerrado e no Brasil. Em um cenário que segue as tendências atuais de uso da terra, o Cerrado poderia perder mais de 480 espécies endêmicas de plantas (mais de três vezes o documentado no Brasil desde 1500) e emitir cerca de 8,5 PgCO₂ equivalente, o que corresponde a 2,5 vezes da redução de emissões na Amazônia entre 2005 e 2013 (STRASSBURG et al., 2017).

Ainda segundo Rausch et al. (2019), aproximadamente metade dos remanescentes de Cerrado coincidentes com áreas de alta aptidão para a soja que podem ser legalmente desmatadas estão concentrados no MATOPIBA. Os resultados desta tese evidenciam que cerca de 75% a área do MATOPIBA ainda se encontra com cobertura vegetal, mas que há uma escalada da área cultivada para *commodities*, nesse caso, especialmente soja e algodão. A produção de alimentos na região se mantém em cerca de 2,5 Mha, enquanto a área de *commodities* expandiu 4,5 Mha (23% da expansão registrada no Cerrado), de cerca de 300 mil ha em 1988 para 4,8 Mha em 2017, mas foi somente em 2001 que ultrapassou a marca de 1 Mha plantados com *commodities*. Assim, a região se destaca como a mais importante e recente fronteira no cenário agrícola nacional onde, diferente da Amazônia, onde a vegetação é convertida para pastagens e depois para lavouras, no MATOPIBA a vegetação é diretamente convertida para plantios. Os impactos diretos dessa dinâmica para o ciclo hidrológico já foram estudados por Spera et al. (2016), que demonstram a redução da evapotranspiração causada pelas raízes superficiais da soja, incapazes de reciclar a água das camadas mais profundas do solo, assim como fazem as raízes das plantas do Cerrado.

A expansão da moratória da soja para o Cerrado é uma medida de extrema importância que poderia ajudar a mitigar futuros desmatamentos em áreas permitidas pela legislação ambiental mas que atualmente abrigam porções importantes de cobertura vegetal (NEPSTAD et al., 2019; SOTERRONI et al., 2019). No entanto, segundo Lima et al. (2019), a moratória da soja está longe de ser uma realidade para o Cerrado, pois alguns representantes de setores ligados a essa atividade “não desistirão dos direitos dos produtores brasileiros de converter áreas de Cerrado para produzir alimentos”. Como mostrado pelos resultados dessa tese, a conversão do Cerrado não

está relacionada com a produção de alimentos, que se mantém entre 15 e 20 Mha na região e na média de 62 Mha no Brasil, durante o período estudado. De fato, desde 2001, há mais área de lavouras plantadas para *commodities* de exportação do que para alimentos no Brasil. A área para alimentos só se mantém relativamente estável, com uma leve tendência de expansão no período, mas com retração entre 2014 e 2017, devido a expansão/retração das atividades pecuárias relacionadas com a produção de carne bovina e leite. As áreas de lavouras destinadas à produção de alimentos estão continuamente diminuindo, sendo que atualmente ocupam 12 Mha para alimentação humana direta e 10 Mha para ração de suínos e aves que, por sua vez, integram o sistema alimentar na forma de carnes e ovos. Ainda que a participação dos alimentos produzidos tenha diminuído dentro a produção total, há uma evidente tendência de intensificação da agricultura no país, como já mostrado por [Dias et al. \(2016\)](#), que possibilita a produção de mais calorias e nutrientes para alimentos em uma área de lavouras 56% menor, se comparados os anos de 1988 e 2017.

Embora ocupe a maior parte da área destinada direta e indiretamente para a produção de gêneros alimentícios, a pecuária é apontada como a forma menos eficiente de transformação de energia em calorias para consumo humano ([ESHEL; MARTIN, 2006](#); [SPAROVEK et al., 2018](#)). Esse fato também é observado aqui, uma vez que entre 7,5% e 15% das calorias são fornecidas para consumo humano pela carne e pelo leite na série histórica (Figura 4.12). Apesar disso, considerando o universo alimentar analisado, mais da metade do cálcio e da vitamina A são provenientes da pecuária, principalmente do leite, evidenciando que sua contribuição ao sistema alimentar não pode ser ignorada mas deve, sim, ser otimizada ([KATARE et al., 2020](#)).

Nesse sentido, a produção mais eficiente de alimentos no Brasil é encontrada na região da Mata Atlântica, onde foram produzidos, em média, 42% ($\pm 3\%$) dos macronutrientes e calorias, 47% dos minerais ($\pm 14\%$) e 59% das vitaminas ($\pm 13\%$) em cerca de 26 Mha (± 2 Mha). Apesar do seu histórico de supressão da vegetação, foi observado um padrão de aumento da cobertura vegetal em municípios da Mata Atlântica, assim como relatado por [Barretto et al. \(2013\)](#). Os autores também reportam esse fenômeno na Caatinga, causado pelo abandono da agricultura. Os resultados mostrados na Figura 4.5, porém, sugerem que na Caatinga a diminuição das lavouras foi seguido pelas pastagens e não pelo aumento da cobertura vegetal. Nesse sentido, estudos em duas regiões da Mata Atlântica no estado de São Paulo apontam que o aumento da cobertura vegetal ocorre, principalmente, nas áreas de relevo acentuado que impedem a mecanização da agricultura ([SILVA et al., 2017](#); [MOLIN et](#)

al., 2017). Já na Caatinga, o aumento monotônico da cobertura vegetal está concentrado apenas na região do Borborema paraibano e Mossoró potiguar, enquanto Redo et al. (2013) indica uma região maior com um processo de transição florestal, englobando além dessas regiões, o sertão paraibano e áreas isoladas no Pernambuco, Ceará e Piauí. Essa diferença pode estar relacionada com a metodologia empregada para geração dos diferentes mapas de uso da terra.

Desse modo, é imperativo que futuros estudos foquem na dinâmica produtiva da região da Mata Atlântica para compreender suas nuances e identificar possibilidades e sinergias entre produção de alimentos e a restauração dos ecossistemas florestais. Também é importante investigar o papel que a diminuição da área de lavouras para comida pode significar para a segurança alimentar, bem como compreender as causas dessa diminuição.

A análise dos cenários elaborados com diferentes dietas sugere que a produção de alimentos nunca foi o maior fator limitante para a promoção da segurança alimentar no país, entre 1988 e 2017, ainda que o Brasil tenha deixado o mapa da fome da FAO apenas em 2014 (MCGUIRE, 2015). As causas da insegurança alimentar, assim, devem estar mais relacionadas com a prevalência da pobreza e com a distribuição e comercialização ineficientes dos alimentos, que restringem o acesso estável aos alimentos em quantidade necessária, bem como observado em escala planetária (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 2015b). É importante notar que o nível de consumo de alimentos processados também determina os níveis nutricionais de uma população (LOUZADA et al., 2018).

O desenvolvimento de políticas nacionais para redução da pobreza e erradicação da fome durante a primeira década do século teve efeitos importantes para a segurança alimentar, melhorando o acesso aos alimentos pela população como uma das principais estratégias dos programas sociais (ROCHA, 2009; BELIK, 2013; ROCHA, 2016). No entanto, com a recessão econômica no Brasil desde 2014, e a extinção dos conselhos de segurança alimentar em 2018, maiores taxas de insegurança alimentar são esperadas no futuro próximo, principalmente relacionada com a maior vulnerabilidade social das famílias com menor poder aquisitivo (COSTA et al., 2017; VIDAL et al., 2018; CASTRO, 2019). Assim, as políticas públicas têm um papel crucial para a manutenção do sistema alimentar em todos os seus aspectos, desde a produção sustentável até a realização da segurança alimentar e nutricional, passando pela redução das externalidades e impactos ambientais.

Apesar de estar caminhando no sentido oposto, o Brasil ainda tem uma janela de

oportunidades única para promover a segurança alimentar, ao mesmo tempo que mantém sua economia de exportação de *commodities* e protege a biodiversidade, sem precisar aumentar o desmatamento. Esse é um desafio complexo e multifacetado que deve ser tratado de múltiplas formas. Por exemplo, por parte do consumo, reduzir os níveis de carne nas refeições poderia significar um enorme impacto sobre a demanda de terras por pastagens, se aliado com políticas de intensificação e para limitar sua expansão e uso especulatório, como citado anteriormente. Ao mesmo tempo, no aspecto da produção, as pastagens não-produtivas devem ser urgentemente incorporadas ao sistema alimentar. No entanto, as evidências mostram que as dietas brasileiras estão caminhando exatamente em direção oposta, com maiores níveis de consumo de carne bovina (TRAVASSOS; COELHO, 2017), inclusive para níveis mais elevados do que aqueles recomendados pelo Fundo Mundial para Pesquisa em Câncer (CARVALHO et al., 2014). Os incentivos econômicos para frigoríficos desempenham um papel fundamental na concentração da produção e processamento da carne bovina, sem grandes compromissos ambientais (MERRY; SOARES-FILHO, 2017; SANTOS; COSTA, 2018). Desse modo, uma hipótese apresentada aqui, que deve ser explorada em pesquisas futuras, é de que o financiamento público de grandes empresas do ramo (MERRY; SOARES-FILHO, 2017; MÜLLER-HANSEN et al., 2019) teve um efeito sobre os preços da carne bovina ao consumidor final, devido ao aumento da oferta, podendo assim, ser um dos fatores associados ao aumento do consumo de carne na última década no Brasil.

Com relação às exportações, MacDonald et al. (2015) mostram que o comércio internacional de *commodities* agrícolas do Brasil tem maiores proporções de calorias (9% a 10% dos fluxos comerciais globais) do que de valores monetários (4% a 5%). Isso é um indicador de que a maior parte das exportações brasileiras, em volume, são matérias primas com pouco ou nenhum valor agregado, como a soja e o café, apesar de representarem uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) que, segundo Oliveira e Carraro (2019) era de 21,6% em 2017, contra 31,9% em 1996. Assim, o processamento dessas mercadorias e a exportação dos produtos finais poderia agregar valor e gerar empregos no setor agrícola nacional.

Por fim, foi mostrado aqui que a expansão agrícola recente no Brasil foi principalmente para *commodities* e que nenhum hectare de terra a mais é necessário para alimentar a população brasileira no futuro, se os níveis de produção correntes do ano de 2017 se mantiverem anualmente. Em um cenário sem mudanças de produção e consumo, menos de 90% das terras poderiam produzir o necessário para o volume populacional projetado para o ano de 2060. Por outro lado, se toda a pecuária for

excluída do setor produtivo, em um cenário estritamente vegetariano, cerca de 17 Mha poderiam ser necessários para suprir as demandas nutricionais da população, com ressalvas para a vitamina A e vitamina B12. Nesse sentido, estratégias de melhoramento da produção das lavouras, redução das diferenças de produtividade e o redesenho os sistemas agrícolas para aumentar a produtividade usando menos terra são medidas importantes de serem tomadas, independente de quaisquer cenários, a fim de promover a alimentação saudável em quantidade, qualidade e diversidade (SMITH, 2013; PRETTY et al., 2018).

5.1 Limitações e apontamentos gerais

A primeira limitação que merece ser destacada é que neste trabalho somente um aspecto dos impactos da agricultura foi tratado: a conversão da cobertura vegetal, excluindo demais impactos da agricultura moderna sobre os ecossistemas, tais como, a quebra dos ciclos biogeoquímico e poluição devido ao excesso de fertilizantes nitrogenados (POWER, 2010). Além disso, os impactos do uso de agrotóxicos sobre a biodiversidade e a saúde humana também são bem documentados na literatura científica (CARNEIRO et al., 2015; MAHMOOD et al., 2016; PELOSI et al., 2017; PIGNATI et al., 2017; BOMBARDI, 2017) e não foram considerados como externalidades da produção agropecuária nesse trabalho. Entretanto, os efeitos dos agrotóxicos sobre polinizadores merecem especial atenção, uma vez que 68% das principais lavouras do Brasil têm alguma dependência de polinização e a perda desse serviço ecossistêmico pode diminuir dramaticamente a produtividade agrícola e o PIB brasileiro (NOVAIS et al., 2016) com consequências óbvias para a segurança alimentar.

Ainda com relação à produção, segundo Dawson et al. (2016) o efeito das mudanças climáticas sobre a produtividade das lavouras pode levar 50% da população ao risco de insegurança alimentar em 2050, segundo um cenário de mudanças climáticas moderadas. Nesse sentido, Lapola et al. (2011) estimam que no pior cenário de mudanças climáticas na Amazônia, a produtividade da soja poderia sofrer uma redução de 44% em 2050, tendo um impacto significativo para expansão agrícola em outras regiões.

Outra limitação é que nesse estudo é feita uma suposição simples de que a demanda alimentar é uma questão de calorias e nutrientes necessários em uma população, sem considerar os padrões atuais de consumo e nem a diversidade ou qualidade dos alimentos consumidos pela população, tampouco a logística envolvida desde a produção até o consumo. Mesmo assim, os padrões atuais de consumo refletem níveis de renda na sociedade, e as preferências alimentares são influenciadas pelos

mercados alimentícios, ao invés do que deveria ser idealmente consumido, em termos de produtos frescos e processados (BORLIZZI *et al.*, 2017). Portanto, considerar o balanceamento entre produção e demanda de vegetais, cereais, carne etc., como exemplificado para hortaliças no trabalho de Nolasco *et al.* (2017), permitira abordar outras formas de abordar as demandas de terras específicas para cada alimento. Ainda, foi possível considerar somente as calorias e alguns macro e micronutrientes selecionados, do quais as informações nutricionais estavam disponíveis no momento da elaboração da tese, em um universo alimentar de 62 tipos de lavouras (nem todas alimentícias) e 5 tipos de produtos animais. Não foram considerados verduras e legumes que poderiam aumentar sobremaneira a quantidade nutricional estudada, mas que não são pesquisados em dados secundários nacionais, como a PAM. Os cenários vegetarianos apresentam uma deficiência de vitamina A, presente em muitas plantas alimentícias não convencionais. Por exemplo, Hall *et al.* (2019) mostraram que no Malawi, casas localizadas em áreas com maiores proporções de cobertura vegetal tinham níveis de adequação de consumo de vitamina A muito maiores do que aquelas mais longes, pois a ingestão de vitamina A aumenta significativamente com o consumo de tais plantas.

As tendências atuais das dietas, com maiores níveis de consumo de carne bovina e de alimentos processados também não foram levadas em conta, bem como questões de saúde associadas com cada tipo de dieta. O maior nível de consumo de carne não foi considerado nos cenários futuros, pois a média de consumo nacional já está acima do recomendado pela Organização Mundial da Saúde e porque não há evidências de que o aumento no consumo de carne bovina poderia melhorar a sustentabilidade do setor agropecuário (TILMAN; CLARK, 2014; POORE; NEMECEK, 2018)

Futuras pesquisas e análises são necessárias para compreender o papel do desperdício dos alimentos, das mudanças tecnológicas (cultivos orgânicos, fortificação de culturas e transgênicos), diminuição das diferenças de produtividade e os impactos das mudanças climáticas e da disponibilidade hídrica nas lavouras (FOLEY *et al.*, 2011; SMITH, 2013; WEST *et al.*, 2014; DAWSON *et al.*, 2016; FITTON *et al.*, 2019). Por fim, também não foi considerado o papel da importação de alimentos, pois a questão científica é focada na produção agrícola doméstica. Maiores proporções de alimentos importados poderiam reduzir a demanda por terra no país, mas os impactos da produção seriam alocados em outras regiões do globo (RUITER *et al.*, 2016; RUITER *et al.*, 2017).

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho, as demandas nutricionais da população brasileira foram integradas às demandas de uso da terra para produção de alimentos, a fim de testar a hipótese de que não há necessidade de expandir a agricultura no Brasil para promover a segurança alimentar e nutricional. Apesar das evidentes limitações impostas pelos métodos e pelos dados utilizados, esse trabalho contribui para aprofundar a discussão sobre as dinâmicas de uso da terra associadas à expansão da agricultura, evidenciando que apenas 22% da área agrícola do país (55 Mha) é destinada à produção de alimentos, sendo que 60% são em pastagens para a produção de leite e de carne bovina, que fornecem uma proporção muito pequena da maior parte dos nutrientes analisados ao sistema alimentar. Adicionalmente, um terço das áreas agrícolas do país são pastagens que não contribuem, nem de maneira indireta, para a produção agropecuária, o que representa uma área 36% maior do que aquela destinada à produção de comida. Ainda, foi mostrado que dietas com menores níveis de consumo de produtos de origem animal poderiam significar um impacto enorme no uso da terra no Brasil sendo que, em um cenário que exclui completamente a produção e o consumo de carne bovina das dietas, os níveis nutricionais permaneceriam praticamente inalterados, enquanto o uso da terra cairia pela metade do atual.

Assim, há evidências de que não há necessidade para mais expansão de uso da terra no Brasil com a finalidade de produção de alimentos para a crescente população até 2060. Por isso, o Brasil possui uma oportunidade única para promoção da segurança alimentar limitando a expansão da agricultura. A efetivação de políticas públicas que coíbem o desmatamento, junto com iniciativas que promovam uma agricultura sustentável, poderiam melhorar significativamente a sustentabilidade do sistema alimentar brasileiro, reduzindo suas externalidades e promovendo o bem estar. Ainda, incentivos públicos para redução do consumo de carne bovina poderia aliviar futuras pressões de conversões da cobertura vegetal para pastagens.

Por fim, os métodos desenvolvidos nesse trabalho representam um passo a mais para a compreensão espaço-temporal da produção de alimentos e *commodities* agrícolas no Brasil e outros indicadores de nutrição, comércio e meio ambiente devem ser incluídos nas análises futuras. Mesmo assim, a análise, ainda que de forma exploratória como apresentada nessa tese, pode contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas mais efetivas no sentido de um sistema alimentar mais sustentável em todos os seus aspectos, desde a produção até o consumo, dentro das limitantes ambiental, social, política e econômica, inerentes do sistema alimentar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Rome: FAO, 2012. 8, 9, 15
- ALKIMIM, A.; SPAROVEK, G.; CLARKE, K. C. Converting Brazil's pastures to cropland: an alternative way to meet sugarcane demand and to spare forestlands. **Applied Geography**, v. 62, p. 75–84, 2015. 50
- ARIMA, E. Y.; BARRETO, P.; ARAÚJO, E.; SOARES-FILHO, B. Public policies can reduce tropical deforestation: lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, v. 41, p. 465–473, 2014. 50
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies? **Environment and Development Economics**, v. 20, n. 6, p. 697–722, 2015. 49
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R.; ROCHA, R. **Does credit affect deforestation? Evidence from a rural credit policy in the Brazilian Amazon**. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2013. 50
- BARRETTO, A. G.; BERNDES, G.; SPAROVEK, G.; WIRSENIUS, S. Agricultural intensification in Brazil and its effects on land-use patterns: an analysis of the 1975–2006 period. **Global Change Biology**, v. 19, n. 6, p. 1804–1815, 2013. 50, 53
- BELIK, W. The brazilian food and nutrition security policy: concept and results. **Labor and Globalization**, p. 173, 2013. 8, 54
- BENNETZEN, E. H.; SMITH, P.; PORTER, J. R. Agricultural production and greenhouse gas emissions from world regions: the major trends over 40 years. **Global Environmental Change**, v. 37, p. 43–55, 2016. 6
- BERGTOLD, J. S.; CALDAS, M. M.; SANTANNA, A. C.; GRANCO, G.; RICKENBRODE, V. Indirect land use change from ethanol production: the case of sugarcane expansion at the farm level on the brazilian cerrado. **Journal of Land Use Science**, v. 12, n. 6, p. 442–456, 2017. 51
- BOMBARDI, L. M. **Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia**. [S.l.]: FFLCH-USP, 2017. 56

- BORLIZZI, A.; DELGROSSI, M. E.; CAFIERO, C. National food security assessment through the analysis of food consumption data from household consumption and expenditure surveys: the case of Brazil's pesquisa de orçamento familiares 2008/09. **Food Policy**, v. 72, p. 20–26, 2017. 48, 57
- 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 the rationale for beef production. **Land Use Policy**, v. 29, n. 3, p. 558–568, 2012. 50
- BRANCALION, P. H.; GARCIA, L. C.; LOYOLA, R.; RODRIGUES, R. R.; PILLAR, V. D.; LEWINSOHN, T. M. A critical analysis of the native vegetation protection law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. **Natureza & Conservação**, v. 14, p. 1–15, 2016. 49
- BRANDON, K.; FONSECA, G. A. D.; RYLANDS, A. B.; SILVA, J. M. C. D. Brazilian conservation: challenges and opportunities. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 595–600, 2005. 7
- BRUM, L. M. D. L.; SILVA, G. M. da; LAMPERT, V. do N. Análise de aspectos produtivos e sociais da atividade leiteira gaúcha e brasileira. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 2, 2019. 50
- CAMPOS, A. d.; FERREIRA, A. d. M.; PIRES, M. **Composição do rebanho e sua influência na produção de leite**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. 22
- CARDOSO, A. S.; BERNDT, A.; LEYTEM, A.; ALVES, B. J.; CARVALHO, I. d. N. de; SOARES, L. H. de B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v. 143, p. 86–96, 2016. 49
- CARNEIRO, F. F. et al. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. [S.l.]: EPSJV/Expressão Popular, 2015. 56
- CARVALHO, A. M. de; CÉSAR, C. L. G.; FISBERG, R. M.; MARCHIONI, D. M. Meat consumption in São Paulo–Brazil: trend in the last decade. **PLoS One**, v. 9, n. 5, 2014. 55
- CASSIDY, E. S.; WEST, P. C.; GERBER, J. S.; FOLEY, J. A. Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 3, p. 034015, 2013. 8, 13, 15, 19

- CASTRO, G.; CARVALHO, C. de; MAGALHÃES, L.; OSHIRO, O.; MARTINHO, P.; DALTIO, J.; FONSECA, M.; MIRANDA, E. de. Agriculture and environmental preservation: first results of an unparalleled analysis in Brazil. **Embrapa Territorial**, v. 22, 2018. 47
- CASTRO, I. R. R. d. The dissolution of the Brazilian National Food and Nutritional Security Council and the food and nutrition agenda. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, n. 2, 2019. 8, 54
- CEBALLOS, G.; EHRLICH, P. R.; BARNOSKY, A. D.; GARCÍA, A.; PRINGLE, R. M.; PALMER, T. M. Accelerated modern human-induced species losses: entering the sixth mass extinction. **Science Advances**, v. 1, n. 5, p. e1400253, 2015. 6
- COHN, A. S.; MOSNIER, A.; HAVLÍK, P.; VALIN, H.; HERRERO, M.; SCHMID, E.; O'HARE, M.; OBERSTEINER, M. Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 20, p. 7236–7241, 2014. 49
- COSTA, M. H. et al. Climate risks to Amazon agriculture suggest a rationale to conserve local ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 17, n. 10, p. 584–590, 2019. 7
- COSTA, N. S.; SANTOS, M. O.; CARVALHO, C. P. O.; ASSUNÇÃO, M. L.; FERREIRA, H. S. Prevalence and factors associated with food insecurity in the context of the economic crisis in Brazil. **Current Developments in Nutrition**, v. 1, n. 10, p. e000869, 2017. 54
- CROUZEILLES, R.; FELTRAN-BARBIERI, R.; FERREIRA, M. S.; STRASSBURG, B. B. Hard times for the Brazilian environment. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 9, p. 1213–1213, 2017. 8
- DAWSON, T. P.; PERRYMAN, A. H.; OSBORNE, T. M. Modelling impacts of climate change on global food security. **Climatic Change**, v. 134, n. 3, p. 429–440, 2016. 7, 56, 57
- DIAS FILHO, M. B. **Produção de bovinos a pasto na fronteira agrícola**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 22
- _____. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 22, 50

DIAS, L. C.; PIMENTA, F. M.; SANTOS, A. B.; COSTA, M. H.; LADLE, R. J. Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. **Global Change Biology**, v. 22, n. 8, p. 2887–2903, 2016. 7, 47, 50, 53

D'ODORICO, P.; CARR, J. A.; LAIO, F.; RIDOLFI, L.; VANDONI, S. Feeding humanity through global food trade. **Earth's Future**, v. 2, n. 9, p. 458–469, 2014. 7

ESHEL, G.; MARTIN, P. A. Diet, energy, and global warming. **Earth Interactions**, v. 10, n. 9, p. 1–17, 2006. 53

FEARNSIDE, P. M. Brazilian politics threaten environmental policies. **Science**, v. 353, n. 6301, p. 746–748, 2016. 8, 49

FERRANTE, L.; FEARNSIDE, P. M. Brazil's new president and 'ruralists' threaten Amazonia's environment, traditional peoples and the global climate. **Environmental Conservation**, v. 46, n. 4, p. 261–263, 2019. 8, 49

FERREIRA FILHO, J. B. S.; HORRIDGE, M. Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil. **Land Use Policy**, v. 36, p. 595–604, 2014. 51

FITTON, N. et al. The vulnerabilities of agricultural land and food production to future water scarcity. **Global Environmental Change**, v. 58, p. 101944, 2019. 6, 57

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570–574, 2005. 6

_____. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337–342, 2011. 8, 57

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Technical conversion factors for agricultural commodities**. Rome: FAO, 2003. 19

_____. **Global Forest Resources Assessment 2015: how are the world's forests changing?** Rome: FAO, 2015. 7

_____. The state of food insecurity in the world 2015. In: FAO. **Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress**. Rome: FAO, 2015. 54

GARRETT, R. D.; KOH, I.; LAMBIN, E. F.; WAROUX, Y. I. P. D.; KASTENS, J. H.; BROWN, J. Intensification in agriculture-forest frontiers: land use responses

to development and conservation policies in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 53, p. 233–243, 2018. 49

GIBBS, H. K.; RUESCH, A. S.; ACHARD, F.; CLAYTON, M. K.; HOLMGREN, P.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 38, p. 16732–16737, 2010. 6, 49

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812–818, 2010. 49

GOEDERT, W. J. Região dos cerrados: potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, n. 1, p. 1–17, 1989. 49

GOLLNOW, F.; LAKES, T. Policy change, land use, and agriculture: the case of soy production and cattle ranching in Brazil, 2001–2012. **Applied Geography**, v. 55, p. 203–211, 2014. 51

GOMES, L.; SIMÕES, S. J.; NORA, E. L. D.; SOUSA-NETO, E. R. de; FORTI, M. C.; OMETTO, J. P. H. Agricultural expansion in the Brazilian Cerrado: increased soil and nutrient losses and decreased agricultural productivity. **Land**, v. 8, n. 1, p. 12, 2019. 6, 52

GRANT, M.; SHRECK, A.; BUCHMANN, N. Tackling food system challenges through experiential education: criteria for optimal course design. **GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society**, v. 27, n. 1, p. 169–175, 2018. 5, 6

HALL, C.; MACDIARMID, J. I.; MATTHEWS, R. B.; SMITH, P.; HUBBARD, S. F.; DAWSON, T. P. The relationship between forest cover and diet quality: a case study of rural southern Malawi. **Food Security**, v. 11, n. 3, p. 635–650, 2019. 57

HANSEN, M. C. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850–853, 2013. 47

HATFIELD, J. L.; BOOTE, K. J.; KIMBALL, B.; ZISKA, L.; IZAURRALDE, R. C.; ORT, D.; THOMSON, A. M.; WOLFE, D. Climate impacts on agriculture:

implications for crop production. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 2, p. 351–370, 2011. 6

HERRERO, M. et al. Farming and the geography of nutrient production for human use: a transdisciplinary analysis. **The Lancet Planetary Health**, v. 1, n. 1, p. e33–e42, 2017. 14

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação**. [S.l.]: Ministério do Meio Ambiente; IBGE Brasil, 2004. 17

_____. **Mapa da Amazônia Legal**. [S.l.]: IBGE Brasil, 2014. 17

_____. **Mudanças na cobertura e uso da terra no Brasil. 2000, 2010, 2012, 2014**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2016. 13

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. Geneva: IPCC, 2019. 6

JONES, A. D.; NGURE, F. M.; PELTO, G.; YOUNG, S. L. What are we assessing when we measure food security? A compendium and review of current metrics. **Advances in Nutrition**, v. 4, n. 5, p. 481–505, 2013. 6

KATARE, B.; WANG, H. H.; LAWING, J.; HAO, N.; PARK, T.; WETZSTEIN, M. Toward optimal meat consumption. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 102, n. 2, p. 662–680, 2020. 53

KEPPLE, A. W. et al. **O estado da segurança alimentar e nutricional no Brasil: um retrato multidimensional**. Brasília: FAO, 2014. 5

KREIDENWEIS, U.; HUMPENÖDER, F.; KEHOE, L.; KUEMMERLE, T.; BODIRSKY, B. L.; LOTZE-CAMPEN, H.; POPP, A. Pasture intensification is insufficient to relieve pressure on conservation priority areas in open agricultural markets. **Global Change Biology**, v. 24, n. 7, p. 3199–3213, 2018. 50

LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 27–35, 2014. 7, 50

LAPOLA, D. M.; SCHALDACH, R.; ALCAMO, J.; BONDEAU, A.; KOCH, J.; KOELKING, C.; PRIESS, J. A. Indirect land-use changes can overcome carbon

savings from biofuels in Brazil. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 8, p. 3388–3393, 2010. 51

LAPOLA, D. M.; SCHALDACH, R.; ALCAMO, J.; BONDEAU, A.; MSANGI, S.; PRIESS, J. A.; SILVESTRINI, R.; SOARES-FILHO, B. S. Impacts of climate change and the end of deforestation on land use in the Brazilian Legal Amazon. **Earth Interactions**, v. 15, n. 16, p. 1–29, 2011. 56

LEITE-FILHO, A. T.; PONTES, V. Y. de S.; COSTA, M. H. Effects of deforestation on the onset of the rainy season and the duration of dry spells in southern amazonia. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 124, n. 10, p. 5268–5281, 2019. 7

LIMA, M.; JUNIOR, C. A. da S.; RAUSCH, L.; GIBBS, H. K.; JOHANN, J. A. Demystifying sustainable soy in Brazil. **Land Use Policy**, v. 82, p. 349–352, 2019. 52

LOSSAU, S.; FISCHER, G.; TRAMBEREND, S.; VELTHUIZEN, H. van; KLEINSCHMIT, B.; SCHOMÄCKER, R. Brazil's current and future land balances: is there residual land for bioenergy production? **Biomass and Bioenergy**, v. 81, p. 452–461, 2015. 7

LOUZADA, M. L. da C.; RICARDO, C. Z.; STEELE, E. M.; LEVY, R. B.; CANNON, G.; MONTEIRO, C. A. The share of ultra-processed foods determines the overall nutritional quality of diets in Brazil. **Public Health Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 94–102, 2018. 54

LUIZ, A. J. B.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N.; ARENAS-TOLEDO, J. M.; GOLTZ, E.; BRANDÃO, D. Objective sampling estimation of regional crop area supported by remotely sensed images. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1279–1287, 2012. 12

MACDONALD, G. K.; BRAUMAN, K. A.; SUN, S.; CARLSON, K. M.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; WEST, P. C. Rethinking agricultural trade relationships in an era of globalization. **BioScience**, v. 65, n. 3, p. 275–289, 2015. 7, 55

MACEDO, J. Os cerrados brasileiros: alternativa para a produção de alimentos no limiar do século XXI. **Revista de Política Agrícola**, v. 4, n. 2, p. 11–18, 1995. 49

MAHMOOD, I.; IMADI, S. R.; SHAZADI, K.; GUL, A.; HAKEEM, K. R. Effects of pesticides on environment. In: HAKEEM, K. R.; AKHTAR, M. S.;

- ABDULLAH, S. N. A. (Ed.). **Plant, soil and microbes**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 253–269. 56
- MARTINELLI, L. A.; COLETTA, L. D.; LINS, S. R. M.; MARDEGAN, S. F.; VICTORIA, D. de C. Brazilian agriculture and its sustainability. In: STEIER, G.; PATEL, K. K. (Ed.). **International food law and policy**. [S.l.]: Springer, 2016. p. 767–792. 7
- MARTINELLI, L. A.; JOLY, C. A.; NOBRE, C. A.; SPAROVEK, G. A falsa dicotomia entre a preservação da vegetação natural e a produção agropecuária. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 323–330, 2010. 8, 49
- MARTINELLI, L. A.; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P. M.; MOUTINHO, P. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, n. 5-6, p. 431–438, 2010. 47
- MBOW, C.; ROSENZWEIG, C. **IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. New York: IPCC, 2019. 6
- MCGUIRE, S. **FAO, IFAD, and WFP. the state of food insecurity in the world 2015: meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress**. 2015. 6, 7, 54
- MCMANUS, C. et al. Dynamics of cattle production in Brazil. **PloS One**, v. 11, n. 1, 2016. 50
- MERRY, F.; SOARES-FILHO, B. Will intensification of beef production deliver conservation outcomes in the Brazilian Amazon? **Elementa: Science of the Anthropocene**, v. 5, 2017. 50, 55
- METZGER, J. P. et al. Why Brazil needs its legal reserves. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 3, p. 91–103, 2019. 49
- MIRANDA, E. de; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. de. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa, 2014. 17
- MOLIN, P. G.; GERGEL, S. E.; SOARES-FILHO, B. S.; FERRAZ, S. F. Spatial determinants of Atlantic Forest loss and recovery in Brazil. **Landscape Ecology**, v. 32, n. 4, p. 857–870, 2017. 53, 54

MÜLLER-HANSEN, F.; HEITZIG, J.; DONGES, J. F.; CARDOSO, M. F.; DALLA-NORA, E. L.; ANDRADE, P.; KURTHS, J.; THONICKE, K. Can intensification of cattle ranching reduce deforestation in the Amazon? insights from an agent-based social-ecological model. **Ecological Economics**, v. 159, p. 198–211, 2019. 50, 55

NASCIMENTO, N.; WEST, T. A.; BÖRNER, J.; OMETTO, J. What drives intensification of land use at agricultural frontiers in the Brazilian Amazon? evidence from a decision game. **Forests**, v. 10, n. 6, p. 464, 2019. 8

NEPSTAD, D. et al. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118–1123, 2014. 7, 8

NEPSTAD, L. S.; GERBER, J. S.; HILL, J.; DIAS, L. C.; COSTA, M. H.; WEST, P. C. Pathways for recent Cerrado soybean expansion: extending the soy moratorium and implementing integrated crop livestock systems with soybeans. **Environmental Research Letters**, 2019. 52

NERI, M. C. **Brazil's middle classes**. São Paulo: Fundação Getulio Vargas. Escola de Pós-graduação em Economia, 2014. 48

NOLASCO, C. L.; SOLER, L. S.; FREITAS, M. W.; LAHSEN, M.; OMETTO, J. P. Scenarios of vegetable demand vs. production in Brazil: the links between nutritional security and small farming. **Land**, v. 6, n. 3, p. 49, 2017. 9, 57

NOVAIS, S. M.; NUNES, C. A.; SANTOS, N. B.; DAMICO, A. R.; FERNANDES, G. W.; QUESADA, M.; BRAGA, R. F.; NEVES, A. C. O. Effects of a possible pollinator crisis on food crop production in Brazil. **PloS One**, v. 11, n. 11, 2016. 6, 56

NOVO, A. M.; SLINGERLAND, M.; JANSEN, K.; KANELLOPOULOS, A.; GILLER, K. E. Feasibility and competitiveness of intensive smallholder dairy farming in Brazil in comparison with soya and sugarcane: case study of the Balde Cheio Programme. **Agricultural Systems**, v. 121, p. 63–72, 2013. 50

OLIVEIRA, E. C. de; CARRARO, N. C. Analysis of behavior and agribusiness participation in the composition of the Brazilian Gross Domestic Product (GDP): a study of the temporal series from 1996 to 2017. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 24042–24064, 2019. 55

OLIVEIRA, T. E. de; FREITAS, D. S. de; GIANEZINI, M.; RUVIARO, C. F.; ZAGO, D.; MÉRCIO, T. Z.; DIAS, E. A.; LAMPERT, V. do N.; BARCELLOS, J. O. J. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa biome: the reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**, v. 63, p. 394–400, 2017. 51

PELOSI, C.; BARRIUSO, E.; BEDOS, C.; BENOIT, P.; MAMY, L.; MOUGIN, C. Fate and impact of pesticides: new directions to explore. **Environmental Science**, v. 24, p. 6841–6843, 2017. 56

PENG, W.; SONNE, C.; LAM, S. S.; OK, Y. S.; ALSTRUP, A. K. The ongoing cut-down of the Amazon rainforest threatens the climate and requires global tree planting projects: a short review. **Environmental Research**, v. 181, p. 108887, 2020. 7

PEREIRA, E. J. d. A. L.; FERREIRA, P. J. S.; RIBEIRO, L. C. de S.; CARVALHO, T. S.; PEREIRA, H. B. de B. Policy in Brazil (2016–2019) threaten conservation of the Amazon rainforest. **Environmental Science & Policy**, v. 100, p. 8–12, 2019. 49

PICOLI, M. C.; RORATO, A.; LEITÃO, P.; CAMARA, G.; MACIEL, A.; HOSTERT, P.; SANCHES, I. D. Impacts of public and private sector policies on soybean and pasture expansion in Mato Grosso/Brazil from 2001 to 2017. **Land**, v. 9, n. 1, p. 20, 2020. 51

PIGNATI, W. A.; LIMA, F. A. N. d. S.; LARA, S. S. d.; CORREA, M. L. M.; BARBOSA, J. R.; LEÃO, L. H. d. C.; PIGNATTI, M. G. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a vigilância em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, p. 3281–3293, 2017. 56

PIMM, S. L.; RAVEN, P. Extinction by numbers. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 843–845, 2000. 6

POMPEU, J.; GERAGE, J.; OMETTO, J. A spatiotemporal database on the energy, macro and micro-nutrients from the Brazilian agricultural production. **Data in Brief**, v. 30, p. 105602, 2020. 20

POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. **Science**, v. 360, n. 6392, p. 987–992, 2018. 57

POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2959–2971, 2010. 6, 56

PRETTY, J. et al. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 8, p. 441–446, 2018. 56

PRODES. **Monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite**. 2020. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/>. Acesso em: 03 fev. 2020. 49

RADA, N. Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle. **Food Policy**, v. 38, p. 146–155, 2013. 51

RAMANKUTTY, N.; EVAN, A. T.; MONFREDA, C.; FOLEY, J. A. Farming the planet: 1. geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 22, n. 1, 2008. 6

RANGANATHAN, J.; VENNARD, D.; WAITE, R.; DUMAS, P.; LIPINSKI, B.; SEARCHINGER, T.; GLOBAGRI-WRR, M. A. **Shifting diets for a sustainable food future**. Washington: World Resources Institute, 2016. 15

RAUSCH, L. L. et al. Soy expansion in Brazil's Cerrado. **Conservation Letters**, v. 12, n. 6, p. e12671, 2019. 49, 52

RAY, D. K.; GERBER, J. S.; MACDONALD, G. K.; WEST, P. C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**, v. 6, n. 1, p. 1–9, 2015. 6

REDO, D.; AIDE, T. M.; CLARK, M. L. Vegetation change in Brazil's dryland ecoregions and the relationship to crop production and environmental factors: Cerrado, Caatinga, and Mato Grosso, 2001–2009. **Journal of Land Use Science**, v. 8, n. 2, p. 123–153, 2013. 54

REYDON, B. P.; FERNANDES, V. B.; TELLES, T. S. Land governance as a precondition for decreasing deforestation in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, p. 104313, 2019. 8

ROCHA, C. Developments in national policies for food and nutrition security in Brazil. **Development Policy Review**, v. 27, n. 1, p. 51–66, 2009. 54

_____. Work in progress: addressing food insecurity in Brazil. In: CARAHER M.; COVENEY, J. (Ed.). **Food poverty and insecurity: international food inequalities**. [S.l.]: Springer, 2016. p. 105–115. 54

ROCHEDO, P. R.; SOARES-FILHO, B.; SCHAEFFER, R.; VIOLA, E.; SZKLO, A.; LUCENA, A. F.; KOBERLE, A.; DAVIS, J. L.; RAJÃO, R.; RATHMANN, R. The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 8, p. 695–698, 2018. [8](#)

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using landsat data. **Remote sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057–1076, 2010. [50](#)

RUITER, H. de; MACDIARMID, J. I.; MATTHEWS, R. B.; KASTNER, T.; SMITH, P. Global cropland and greenhouse gas impacts of UK food supply are increasingly located overseas. **Journal of The Royal Society Interface**, v. 13, n. 114, p. 20151001, 2016. [57](#)

RUITER, H. de; MACDIARMID, J. I.; MATTHEWS, R. B.; KASTNER, T.; LYND, L. R.; SMITH, P. Total global agricultural land footprint associated with UK food supply 1986–2011. **Global Environmental Change**, v. 43, p. 72–81, 2017. [57](#)

RUITER, H. de; MACDIARMID, J. I.; MATTHEWS, R. B.; SMITH, P. Moving beyond calories and protein: micronutrient assessment of UK diets and land use. **Global Environmental Change**, v. 52, p. 108–116, 2018. [8](#), [9](#), [14](#)

SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 17, 2007. [7](#)

SANTOS, A. B.; COSTA, M. H. Do large slaughterhouses promote sustainable intensification of cattle ranching in Amazonia and the Cerrado? **Sustainability**, v. 10, n. 9, p. 3266, 2018. [55](#)

SANTOS, J. S. D.; FELTRAN-BARBIERI, R.; FONTE, E. S.; BALMFORD, A.; MAIOLI, V.; LATAWIEC, A.; STRASSBURG, B. B.; PHALAN, B. T. Characterising the spatial distribution of opportunities and constraints for land sparing in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–11, 2020. [13](#), [19](#), [49](#)

SILVA, R. F. B. da; BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Socioeconomic changes and environmental policies as dimensions of regional land transitions in the Atlantic Forest, Brazil. **Environmental Science & Policy**, v. 74, p. 14–22, 2017. [53](#), [54](#)

SMITH, P. Delivering food security without increasing pressure on land. **Global Food Security**, v. 2, n. 1, p. 18–23, 2013. 8, 49, 56, 57

_____. Managing the global land resource. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 285, n. 1874, p. 20172798, 2018. 6, 49

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363–364, 2014. 8

SOTERRONI, A. C. et al. Expanding the soy moratorium to Brazil's Cerrado. **Science Advances**, v. 5, n. 7, p. eaav7336, 2019. 52

SOUSA-NETO, E. R. de; GOMES, L.; NASCIMENTO, N.; PACHECO, F.; OMETTO, J. P. Land use and land cover transition in Brazil and their effects on greenhouse gas emissions. In: MUNOZ M. A.; ZORNOZA, R. (Ed.). **Soil management and climate change**. [S.l.]: Elsevier, 2018. p. 309–321. 7

SPAROVEK, G.; BARRETTO, A.; BERNDES, G.; MARTINS, S.; MAULE, R. Environmental, land-use and economic implications of brazilian sugarcane expansion 1996–2006. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 14, n. 3, p. 285–298, 2009. 50

SPAROVEK, G.; BARRETTO, A. G. d. O. P.; MATSUMOTO, M.; BERNDES, G. Effects of governance on availability of land for agriculture and conservation in Brazil. **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 17, p. 10285–10293, 2015. 8

SPAROVEK, G.; BERNDES, G.; BARRETTO, A. G. d. O. P.; KLUG, I. L. F. The revision of the brazilian forest act: increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation? **Environmental Science & Policy**, v. 16, p. 65–72, 2012. 8

SPAROVEK, G.; GUIDOTTI, V.; PINTO, L. F. G.; BERNDES, G.; BARRETTO, A.; CERIGNONI, F. Asymmetries of cattle and crop productivity and efficiency during Brazil's agricultural expansion from 1975 to 2006. **Elementa: Science of the Anthropocene**, v. 6, n. 1, 2018. 9, 15, 53

SPAROVEK, G. et al. Who owns Brazilian lands? **Land Use Policy**, v. 87, p. 104062, 2019. 50

SPERA, S.; VANWEY, L.; MUSTARD, J. The drivers of sugarcane expansion in Goiás, Brazil. **Land Use Policy**, v. 66, p. 111–119, 2017. 7, 50

- SPERA, S. A.; GALFORD, G. L.; COE, M. T.; MACEDO, M. N.; MUSTARD, J. F. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global Change Biology**, v. 22, n. 10, p. 3405–3413, 2016. 52
- STABILE, M. C.; GUIMARÃES, A. L.; SILVA, D. S.; RIBEIRO, V.; MACEDO, M. N.; COE, M. T.; PINTO, E.; MOUTINHO, P.; ALENCAR, A. Solving Brazil's land use puzzle: increasing production and slowing Amazon deforestation. **Land Use Policy**, v. 91, p. 104362, 2020. 50
- STRAND, J.; SOARES-FILHO, B.; COSTA, M. H.; OLIVEIRA, U.; RIBEIRO, S. C.; PIRES, G. F.; OLIVEIRA, A.; RAJÃO, R.; MAY, P.; HOFF, R. van der et al. Spatially explicit valuation of the Brazilian Amazon forest's ecosystem services. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 11, p. 657–664, 2018. 7
- STRASSBURG, B. B.; LATAWIEC, A. E.; BARIONI, L. G.; NOBRE, C. A.; SILVA, V. P. D.; 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. 8
- STRASSBURG, B. B. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 1–3, 2017. 7, 52
- TILMAN, D.; CLARK, M. Global diets link environmental sustainability and human health. **Nature**, v. 515, n. 7528, p. 518–522, 2014. 57
- TRAVASSOS, G. F.; COELHO, A. B. Padrão de substituição entre carnes no consumo domiciliar do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 2, p. 285–304, 2017. 55
- VIDAL, M. C.; HELLO, F. A.; MADEIRA, N. R. Segurança alimentar e alimentação saudável para todos. **Fome Zero e Agricultura Sustentável**, p. 25, 2018. 54
- WEST, P. C.; GERBER, J. S.; ENGSTROM, P. M.; MUELLER, N. D.; BRAUMAN, K. A.; CARLSON, K. M.; CASSIDY, E. S.; JOHNSTON, M.; MACDONALD, G. K.; RAY, D. K. et al. Leverage points for improving global food security and the environment. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 345, n. 6194, p. 325–328, 2014. 7, 49, 57
- WHEELER, T.; BRAUN, J. V. Climate change impacts on global food security. **Science**, v. 341, n. 6145, p. 508–513, 2013. 6

ZABEL, F.; DELZEIT, R.; SCHNEIDER, J. M.; SEPPELT, R.; MAUSER, W.; VÁCLAVÍK, T. Global impacts of future cropland expansion and intensification on agricultural markets and biodiversity. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 1–10, 2019. 49

ZALLES, V.; HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; STEHMAN, S. V.; TYUKAVINA, A.; PICKENS, A.; SONG, X.-P.; ADUSEI, B.; OKPA, C.; AGUILAR, R. et al. Near doubling of Brazil's intensive row crop area since 2000. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 2, p. 428–435, 2019. 47

ANEXO A - VALORES NUTRICIONAL DOS ALIMENTOS ANALISADOS

Tabela A.1 - Valores nutricionais dos alimentos analisados, com base na TACO e USDA.
Os valores representam as quantidades por 100g de alimento. As unidades estão em parênteses.

Alimento	Energia (kcal)	Carboidrato (g)	Fibra (g)	Proteína (g)	Potássio (mg)
Abacate	96	6	6,3	1,2	206
Abacaxi	48	12,3	1	0,9	131
Alho	113	23,9	4,3	7	535
Amendoim	544	20,3	8	27,2	580
Arroz	358	78,8	1,6	7,2	62
Aveia	394	66,6	9,1	13,9	336
Azeitona	137	4,1	3,8	0,9	20
Banana	92	23,8	1,9	1,4	376
Batata doce	118	28,2	2,6	1,3	340
Batata inglesa	64	14,7	1,2	1,8	302
Cacau	74	19,4	2,2	1	72
Café	9	1,5	0	0,7	156
Cana	65	18,2	0,1	0	18
Caqui	71	19,3	6,5	0,4	164
Castanha de caju	553	30,19	3,3	18,22	660
Cebola	39	1,7	2,2	1,7	176
Centeio	338	75,86	15,1	10,34	510
Cevada	354	73,48	17,3	12,48	452
Chá	2	0,6	0	0	13
Coco-da-bahia	406	10,4	5,4	3,7	354
Dendê	884	0	0	0	0
Erva Mate	0	0	0	0	0
Ervilha	88	14,2	9,7	7,5	311
Fava	341	58,29	25	26,12	1062
Feijão	329	61,2	18,4	20	1352
Figo	41	10,2	1,8	1	174
Fumo	0	0	0	0	0
Goiaba	54	13	6,2	1,1	198
Juta	0	0	0	0	0
Laranja	37	8,9	0,8	1	163

Limão	32	11,1	1,2	0,9	128
Linho	0	0	0	0	0
Maçã	56	15,2	1,3	0,3	75
Malva	0	0	0	0	0
Mamão	45	11,6	1,8	0,8	222
Mamona	0	0	0	0	0
Mandioca	151	36,2	1,9	1,1	208
Manga	64	16,7	2,1	0,4	148
Maracujá	68	12,3	1,1	2	338
Marmelo	57	15,3	1,9	0,4	197
Melância	33	8,1	0,1	0,9	104
Melão	29	7,5	0,3	0,7	216
Milho	138	28,6	3,9	6,6	185
Noz	620	18,4	7,2	14	533
Palmito	29	5,5	2,6	2,5	206
Pera	53	14	3	0,6	116
Pessego	36	9,3	1,4	0,8	124
Pimenta do Reino	251	63,95	25,3	10,39	1329
Rami	0	0	0	0	0
Sisal	0	0	0	0	0
Soja	446	30,16	9,3	36,49	1797
Sorgo	0	0	0	0	0
Tangerina	38	9,6	0,9	0,8	131
Tomate	15	3,1	1,2	1,1	222
Trigo	198	42,53	2,35	7,49	169
Tungue	0	0	0	0	0
Urucum	0	0	0	0	0
Uva	53	13,6	0,9	0,7	162
Ovos	143	1,6	0	13	150
Carne bovina	194,86	1,00	0,04	19,70	276,2
Carne suína	267,5	0	0	18,16	8,66
Frango	170,44	0	0	18,37	242,44
Leite	67	4,58	0	3,33	133
Óleo	884	0	0	0	0
Açúcar	387	100	0	0,3	6

Alimento	Cálcio (mg)	Magnésio (mg)	Fósforo (mg)	Ferro (mg)	Cobre (mg)
----------	-------------	---------------	--------------	------------	------------

Abacate	8	15	22	0,2	0,15
Abacaxi	22	18	13	0,3	0,11
Alho	14	21	149	0,8	0,15
Amendoim	0	171	407	2,5	0,78
Arroz	4	30	104	0,7	0,11
Aveia	48	119	153	4,4	0,44
Azeitona	46	4	5	0,2	0,14
Banana	3	28	27	0,3	0,1
Batata doce	21	17	36	0,4	0,11
Batata inglesa	4	15	39	0,4	0,09
Cacau	12	25	9	0,3	0,15
Café	3	10	9	0	0,01
Cana	9	12	5	0,8	0,01
Caqui	18	9	18	0,1	0
Castanha de caju	37	292	593	6,68	0
Cebola	14	12	38	0,2	0,05
Centeio	34	110	332	2,63	0
Cevada	33	133	264	3,6	0
Chá	2	1	2	0	0
Coco-da-bahia	6	51	118	1,8	0,45
Dendê	0	0	0	0,01	0
Erva Mate	0	0	0	0	0
Ervilha	24	42	152	1,4	0,2
Fava	103	192	421	6,7	0
Feijão	123	210	385	8	0,79
Figo	27	11	15	0,2	0,13
Fumo	0	0	0	0	0
Goiaba	4	7	15	0,2	0,04
Juta	0	0	0	0	0
Laranja	22	9	23	0,1	0,03
Limão	51	10	24	0,2	0,06
Linho	0	0	0	0	0
Maçã	2	2	9	0,1	0,06
Malva	0	0	0	0	0
Mamão	25	17	11	0,2	1,36
Mamona	0	0	0	0	0
Mandioca	15	44	29	0,3	0,07

Manga	12	8	9	0,1	0,1
Maracujá	5	28	51	0,6	0,19
Marmelo	11	8	17	0,7	0
Melância	8	10	12	0,2	0,04
Melão	3	6	10	0,2	0,04
Milho	2	33	113	0,4	0,05
Noz	105	153	396	2	0,75
Palmito	32	25	55	0,2	0,08
Pera	8	6	12	0,1	0,07
Pessego	3	4	15	0,2	0,02
Pimenta do Reino	443	171	158	9,71	0
Rami	0	0	0	0	0
Sisal	0	0	0	0	0
Soja	277	280	704	15,7	0
Sorgo	0	0	0	0	0
Tangerina	13	8	12	0,1	0,03
Tomate	7	11	20	0,2	0,04
Trigo	28	82	200	2,14	0
Tungue	0	0	0	0	0
Urucum	0	0	0	0	0
Uva	8	5	12	0,1	0,11
Ovos	42	13	164	1,6	0,06
Carne bovina	13,46	17,33	155,13	1,54	0,046
Carne suína	18	151	0,725	0,08	1,495
Frango	11,25	26	186,22	0,62	0,037
Leite	134	10	82	0	0,02
Óleo	0	0	0	0	0
Açúcar	4	1	0	0,1	0

Alimento	Zinco (mg)	Manganês (mg)	Vit. A (μg)	Vit. B1 (mg)	Vit. B2 (mg)
Abacate	0,2	0,17	7	0	0,04
Abacaxi	0,1	1,62	3	0,17	0,02
Alho	0,8	0,24	0	0,18	0
Amendoim	3,2	1,96	0	0,1	0,03
Arroz	1,2	1,03	0	0,16	0
Aveia	2,6	1,89	0	0,55	0,03
Azeitona	0,1	0,03	20	0	0

Banana	0,2	0,14	7	0	0,02
Batata doce	0,2	0,18	709	0,06	0
Batata inglesa	0,2	0,1	0	0,1	0
Cacau	0,6	0,04	0	0,25	0
Café	0	0,04	0	0	0
Cana	0,1	0,21	0	0	0
Caqui	0,2	0,39	81	0	0
Castanha de caju	5,78	292	0	423	58
Cebola	0,2	0,13	0	0,04	0
Centeio	2,65	0	1	316	251
Cevada	2,77	0	1	646	285
Chá	0	0,09	0	3,11	0,48
Coco-da-bahia	0,9	1	0	0	0
Dendê	0	0	0	0	0
Erva Mate	0	0	0	0	0
Ervilha	1,2	0,4	38	0,27	0,07
Fava	3,14	0	3	555	333
Feijão	2,9	1,02	0	0,17	0
Figo	0,1	0,06	7	0,05	0
Fumo	0	0	0	0	0
Goiaba	0,1	0,09	31	0	0
Juta	0	0	0	0	0
Laranja	0,1	0,05	0	0,07	0,02
Limão	0,2	0,07	1	0,3	0,04
Linho	0	0	0	0	0
Maçã	0	0,03	2	0	0
Malva	0	0	0	0	0
Mamão	0,1	0,04	74	0,03	0,03
Mamona	0	0	0	0	0
Mandioca	0,2	0,05	1	0	0
Manga	0,1	0,17	54	0,02	0,06
Maracujá	0,4	0,12	64	0	0,05
Marmelo	0,04	0	2	0,02	0,03
Melância	0,1	0,14	28	0	0
Melão	0,1	0,05	3	0	0
Milho	0,5	0,12	16	0,3	0
Noz	2,1	4,05	1	0,38	0

Palmito	0,4	0,14	0	0,03	0
Pera	0,1	0,04	1	0	0
Pessego	0,1	0,05	16	0,05	0
Pimenta do Reino	1,19	0	27	108	0,18
Rami	0	0	0	0	0
Sisal	0	0	0	0	0
Soja	4,89	0	1	874	0,87
Sorgo	0	0	0	0	0
Tangerina	0	0,04	34	0,06	0,02
Tomate	0,1	0,07	42	0,12	0
Trigo	1,65	0	0	225	155
Tungue	0	0	0	0	0
Urucum	0	0	0	0	0
Uva	0	0,13	3	0	0
Ovos	1,1	0	160	0,07	0,58
Carne bovina	3,5	0,0046	3,58	0,14	0,10
Carne suína	0	0	7,5	0,0455	6,43
Frango	1,33	0,013	34,25	0,11	0,03
Leite	0,4	0	125	0,4	0,24
Óleo	0	0	0	0	0
Açúcar	0	0	0	0	0

Alimento	Vit. B3 (mg)	Vit. B6 (mg)	Vit. C (mg)	Vit. B12 (μg)	Folato (μg)
Abacate	0	0	8,7	0	81
Abacaxi	0	0	34,6	0	18
Alho	0	0,44	0	0	3
Amendoim	10,18	0,76	0	0	240
Arroz	1,12	0,07	0	0	8
Aveia	4,47	0	1,4	3	327
Azeitona	0	0	0	0	0
Banana	0	0,14	5,9	0	20
Batata doce	0	0,1	16,5	0	11
Batata inglesa	0	0,15	31,1	0	17
Cacau	0	0,04	13,6	0	32
Café	0	0	0	0	0
Cana	0	0,03	2,8	0	0
Caqui	0	0,03	29,6	0	8

Castanha de caju	1062	417	0,5	0	25
Cebola	0	0,14	4,7	0	19
Centeio	4,27	294	0	0	38
Cevada	4604	318	0	0	19
Chá	0	0	0	0	0
Coco-da-bahia	0	0,03	2,5	0	26
Dendê	0	0	0	0	0
Erva Mate	0	0	0	0	0
Ervilha	1,16	0,06	12,4	0	65
Fava	2832	366	1,4	0	423
Feijão	4,02	0,65	0	0	525
Figo	0	0	0,8	0	6
Fumo	0	0	0	0	0
Goiaba	0	0,03	80,6	0	49
Juta	0	0	0	0	0
Laranja	0	0,02	53,7	0	0
Limão	0	0	38,2	0	11
Linho	0	0	0	0	0
Maçã	0	0,03	2,4	0	0
Malva	0	0	0	0	0
Mamão	0	0	78,5	0	0
Mamona	0	0	0	0	0
Mandioca	0	0,04	16,5	0	27
Manga	0	0,05	17,4	0	0
Maracujá	0	0,05	19,8	0	0
Marmelo	0,2	0,04	15	0	3
Melância	0	0	6,1	0	3
Melão	0	0,02	8,7	0	8
Milho	0	0,04	0	0	42
Noz	1,08	0,13	0	0	98
Palmito	0	0	8,7	0	39
Pera	0	0	2,8	0	0
Pessego	0	0	3,3	0	4
Pimenta do Reino	1143	291	0	0	17
Rami	0	0	0	0	0
Sisal	0	0	0	0	0
Soja	1623	377	6	0	375

Sorgo	0	0	0	0	0
Tangerina	0	0,02	48,8	0	0
Tomate	0	0,02	21,2	0	15
Trigo	3087	265	2,6	0	38
Tungue	0	0	0	0	0
Urucum	0	0	0	0	0
Uva	0	0,03	3,3	0	0
Ovos	0,75	0	0	0,89	47
Carne bovina	2,63	0,03	0	2,31	4
Carne suína	0,03	0	2,5	17,25	0,38
Frango	3,40	0	0	0,47	4,37
Leite	1,52	0	0	0,45	0
Óleo	0	0	0	0	0
Açúcar	0	0	0	0	0

ANEXO B - CENÁRIOS

Tabela B.1 - Percentual da população que poderia ter suas necessidades nutricionais e energéticas supridas em cada cenário. Os resultados são mostrados a cada dez anos, incluindo as futuras projeções (2020-2060). A produção de 2017 é usada como referências para as projeções futuras, considerando a dinâmica populacional projetada pelo IBGE e nenhuma expansão de área para agricultura.

Nutrientes	Cenário	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060
kcal	BAU	105,9	119,5	127,5	120	113	109,6	109,1	111,3
	Sem carne	103,1	116,3	123	115,5	108,8	105,5	105	107,2
	Ovo-lacto	118,8	135,3	148,7	147,5	137,8	133,6	133	135,8
	Veg. estrito	134,2	150	164,7	165,6	154,7	150	149,4	152,4
CHO	BAU	463,6	492,2	460,7	439,7	413,8	401,1	399,3	407,3
	Sem carne	463,3	491,9	460,2	439,2	413,4	400,7	398,9	406,9
	Ovo-lacto	463,3	491,9	460,2	439,2	413,4	400,7	398,9	406,9
	Veg. estrito	638,3	732,5	759,7	773,5	728	705,6	702,4	716,6
Fibra	BAU	140,8	158,9	145,6	147,3	139,5	136,2	136,6	139,9
	Sem carne	140,7	158,8	145,5	147,2	134,4	136,1	136,5	139,8
	Ovo-lacto	140,7	158,8	145,5	147,3	139,4	136,1	136,5	139,8
	Veg. estrito	215,7	251,4	282,7	316,8	300	292,9	293,7	300,8
Proteína	BAU	233,2	272,3	296,1	312,9	290,6	277,9	274,4	278,6
	Sem carne	217,4	254,8	272,6	290,1	269,5	257,6	254,4	258,4
	Ovo-lacto	205,2	227,9	234,1	246,3	228,8	218,7	216	219,3
	Veg. estrito	266,9	308,3	397,3	451,3	419,2	400,8	395,7	401,9
Vit A	BAU	98	109,7	128,4	128,4	119,7	114,8	113,7	115,6
	Sem carne	97,8	109,4	128	128	119,3	114,5	113,3	115,2
	Ovo-lacto	96,2	105,4	122,4	121,5	113,3	108,7	107,6	109,4
	Veg. estrito	45	45,7	40,1	47	43,8	42	41,5	42,8
Vit. C	BAU	592,4	756,1	305,7	221,9	206	196,8	194,2	197,1
	Sem carne	592,4	756,1	305,4	221,9	206	196,8	194,2	197,1
	Ovo-lacto	592	755,5	304,6	221	205,1	196	193,3	196,3
	Veg. estrito	671,5	835,6	396,5	300,6	279	266,6	263	267
Vit. B1	BAU	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Sem carne	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Ovo-lacto	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Veg. estrito	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000

Vit. B2	BAU	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Sem carne	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Ovo-lacto	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Veg. estrito	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Vit. B3	BAU	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Sem carne	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Ovo-lacto	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Veg. estrito	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Vit. B6	BAU	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Sem carne	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Ovo-lacto	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	Veg. estrito	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Folato	BAU	244,4	273,8	285,7	302,9	282,4	271	268,3	272,8
	Sem carne	244	273,4	285	302,3	281,8	270,5	267,8	272,3
	Ovo-lacto	243,7	272,7	284,1	301,2	280,8	269,5	266,8	271,3
	Veg. estrito	343,6	390,9	523,5	584,6	545	523,1	517,8	526,6
Vit. B12	BAU	193,6	249,6	364,9	393	366,5	351,7	348,2	354,1
	Sem carne	153,1	204,3	303,3	333	310,5	298	295	300
	Ovo-lacto	65	72,7	95,8	99,1	92,3	88,6	87,7	89,2
	Veg. estrito	4,2	4	7	10,3	9,6	9,2	9,1	9,2
Ca	BAU	125,9	147,6	153,5	159,6	149,5	144	142,7	144,6
	Sem carne	125,3	147	152,6	158,7	148,6	143,2	141,9	143,7
	Ovo-lacto	124,8	145,9	151	153,9	146,9	141,6	140,3	142,1
	Veg. estrito	108	128,6	156,5	171,9	161	155,1	153,7	155,7
Cu	BAU	203,3	252,6	239,5	215	200,5	192,4	190,5	193,8
	Sem carne	201,2	250,2	236,2	211,8	197,5	189,6	187,7	190,9
	Ovo-lacto	180,9	200	188,6	158,1	147,5	141,5	140,1	142,5
	Veg. estrito	219,2	263,7	233,7	209,2	195	187,2	185,3	188,5
Fe	BAU	353,4	393,6	418,4	451,7	434	430,4	436,9	450,4
	Sem carne	348,4	388	410,4	443,8	426,4	422,8	429,2	442,5
	Ovo-lacto	347,2	384,9	405,9	438,5	421,3	417,8	424	437,2
	Veg. estrito	441,2	521,8	717	802,6	771,1	764,7	776,1	800,2
Mg	BAU	307,8	330,2	339,7	343,5	319,1	305,3	301,7	306,4
	Sem carne	305,7	327,9	336,6	340,5	316,3	302,6	299	303,7
	Ovo-lacto	298,9	316,2	319	320,6	297,8	284,9	281,6	286
	Veg. estrito	411,3	452,8	558,3	593	550,8	527	520,7	528,9

Mn	BAU	403,4	440	379,9	376,7	352,4	339,5	336,8	342,8
	Sem carne	403,3	439,9	379,8	376,6	352,3	339,4	336,6	342,7
	Ovo-lacto	403,2	439,5	379,2	376	351,7	338,8	336,1	342,1
	Veg. estrito	459,8	542,6	504,1	512,2	479	461,5	457,8	466
P	BAU	255,7	297,3	330,4	357,9	338,5	329,6	330,2	337,7
	Sem carne	248,5	289	318,8	346,1	327,4	318,8	319,5	326,6
	Ovo-lacto	243,7	276,2	299,9	323,6	306,1	298	298,5	305,4
	Veg. estrito	308,3	363,5	490,2	571,7	540,7	526,5	527,4	539,5
Zn	BAU	188,2	211,5	230,3	238,9	233	214,3	212,4	216,1
	Sem carne	172,9	194,4	206,9	216,1	201,7	193,9	192,1	195,5
	Ovo-lacto	169,7	185,9	195	202,2	188,3	181,5	179,8	183
	Veg. estrito	208,8	238,6	310,5	342,7	319,9	307,5	304,7	310
K	BAU	205,7	241,4	232	236,3	221,1	213	211,2	215
	Sem carne	202	237,3	226,3	230,8	215,8	208	206,2	209,9
	Ovo-lacto	200,2	232,5	2019,5	222,8	208,5	200,9	199,2	202,8
	Veg. estrito	257,5	300,1	358,5	387,9	362,9	349,6	346,7	352,9

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Contam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.