



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
INSTITUTO DE ESTUDOS EM SAÚDE COLETIVA

THIAGO FELIPE MELO DE LIMA

DESMATAMENTO, AGROTÓXICOS E INTOXICAÇÕES EXÓGENAS:
uma abordagem do antropoceno brasileiro

Rio de Janeiro
2025

THIAGO FELIPE MELO DE LIMA

DESMATAMENTO, AGROTÓXICOS E INTOXICAÇÕES EXÓGENAS:
uma abordagem do antropoceno brasileiro

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Estudos em Saúde Coletiva, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do título Doutor em Saúde Coletiva.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre dos Santos Brito

Coorientador: Prof. Dr. Armando Meyer

Rio de Janeiro

2025

L732 Lima, Thiago Felipe Melo de.
Desmatamento, agrotóxicos e intoxicações exógenas: uma abordagem do antropoceno brasileiro / Thiago Felipe Melo de Lima. – Rio de Janeiro, 2025.
176 f.: il.; 30 cm.

Orientador: Alexandre dos Santos Brito.
Coorientador: Armando Meyer.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Estudos em Saúde Coletiva, Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, 2025.

Referências: f. 151-176.

1. Desmatamento – Brasil. 2. Agroquímicos. 3. Intoxicação exógena. 4. Antropoceno. I. Brito, Alexandre dos Santos. II. Meyer, Armando. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Estudos em Saúde Coletiva. IV. Título.

CDD 363.7

FOLHA DE APROVAÇÃO

THIAGO FELIPE MELO DE LIMA

DESMATAMENTO, AGROTÓXICOS E INTOXICAÇÕES EXÓGENAS:
uma abordagem do antropoceno brasileiro

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Estudos em Saúde Coletiva, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do título Doutor em Saúde Coletiva.

Aprovada em: 02 de setembro de 2025.

Prof. Dr. Alexandre dos Santos Brito (Orientador)
IESC/UFRJ

Prof. Dr. Antônio José Leal Costa
IESC/UFRJ

Profa. Dra. Aline de Souza Espíndola Santos
IESC/UFRJ

Prof. Dr. Paulo Rubens Guimarães Barrocas
ENSP/Fiocruz

Prof. Dr. Cleber Cremonese
ISC/UFBA

RESUMO

LIMA, Thiago Felipe Melo de. **Desmatamento, agrotóxicos e intoxicações exógenas**: uma abordagem do antropoceno brasileiro. 2025. 176 f. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) – Instituto de Estudos em Saúde Coletiva, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

A mudança na cobertura do solo é um dos principais indicadores do Antropoceno. No Brasil, esta conversão, impulsionada pela busca por terras para a agropecuária é um processo contínuo. Baseado na Revolução Verde, este é um setor importante da economia brasileira que gera riqueza para uma parte da população. Entretanto, toda essa prosperidade tem grandes custos ambientais e sociais, o uso de agrotóxicos e problemas sanitários são exemplos destes custos. Neste trabalho, analisamos três etapas desta cadeia de eventos: mudanças na cobertura do solo, consumo de agrotóxicos e intoxicações exógenas, além de suas conexões. Dados de cobertura de solo foram obtidos do MapBiomas, dados dos relatórios anuais de comercialização de agrotóxicos foram obtidos do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e dados de saúde do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN). Partindo de um estudo ecológico de séries temporais, indicadores ambientais e de saúde foram construídos, tendo como base as Unidades da Federação e suas variações interanuais. Apesar dos esforços governamentais, em nenhum momento o desflorestamento parou ou foi revertido, em quarenta anos convertemos em agropecuária uma área do tamanho do Chile. Tudo isso, aliado a um aumento significativo no consumo de agrotóxicos, com o glifosato, principal produto comercializado, perdendo espaço no percentual total. Além de associações positivas entre agrotóxicos e intoxicações exógenas em quatro dos nove estados pesquisados. Os resultados apresentam um país que ainda coloca o desenvolvimento de sua agropecuária acima do bem-estar de sua população e do seu meio ambiente.

Palavras-chave: Brasil; desmatamento; agrotóxicos; intoxicações exógenas; antropoceno.

ABSTRACT

LIMA, Thiago Felipe Melo de. **Desmatamento, agrotóxicos e intoxicações exógenas**: uma abordagem do antropoceno brasileiro. 2025. 176 f. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) – Instituto de Estudos em Saúde Coletiva, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

Land cover change is one of the main indicators of the Anthropocene. In Brazil, this conversion, driven by the search for land for agriculture, is a continuous process. Based on the Green Revolution, this is an important sector of the Brazilian economy that generates wealth for a part of the population. However, all this prosperity has great environmental and social costs, the use of pesticides and health problems are examples of these costs. In this work, we analyze three stages of this chain of events: changes in land cover, consumption of pesticides and exogenous poisoning, in addition to their connections. Land cover data was obtained from the MapBiomas database, pesticides annual reports data were obtained from the Brazilian Institute for the Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA) database and health data from the National Disease Notification System (SINAN). Starting with an ecological time-series study, environmental and health indicators were built, based on the Federation Units and their year-on-year variations. Despite government efforts, deforestation has never stopped or been reversed; in forty years we have converted an area the size of Chile. All this combined with a significant increase in the consumption of pesticides, with glyphosate, the main product sold, losing space in the total percentage. In addition to positive associations between pesticides and exogenous poisoning in four of the nine states surveyed. The results present a country that still places the development of its agriculture above the well-being of its population and its environment.

Keywords: Brazil; deforestation; pesticides; exogenous poisoning; anthropocene.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Crescimento exponencial dos padrões mundiais de consumo após a Segunda Guerra Mundial: uso de água, transportes, consumo de fertilizantes, produção de papéis, produção de plástico e uso de energia primária	13
Figura 2 – Padrões mundiais: degradação da biosfera, pesca, dióxido de carbono, acidificação dos oceanos e perda de florestas tropicais	14
Figura 3 – Fronteiras Planetárias em 2015 e atualizadas em 2023	15
Figura 4 – Proporção de área e quantidade de estabelecimentos entre agricultura familiar e agricultura não familiar.....	18
Figura 5 – Fronteira agrícola na região do Xingu Araguaia, Mato Grosso, Brasil.....	24
Figura 6 – Rachel Carson em uma audiência no Senate Government Operations subcommittee sobre o perigo dos pesticidas	28
Figura 7 – Glifosato, o agrotóxico mais utilizado do mundo	32
Figura 8 – Milho, algodão e soja foram as primeiras lavouras geneticamente modificadas do mundo	34
Figura 9. Pulverização aérea da lavoura.....	36
Figura 10 – Sistemas Agroflorestais.....	39
Figura 11 – Transformando os sistemas alimentares através da Agroecologia	40
Figura 12 – Pouco cuidado no uso dos agrotóxicos em Mato Grosso	42
Figura 13 – A interface do R combina linguagem de programação, tabelas e gráficos em um software livre e gratuito	52
Figura 14 – QGIS é considerado um Sistema de Informação Geográfica livre e aberto	53
Figura 15 – O Joinpoint foi utilizado para encontrar pontos de inflexão (aqueles que apresentam mudanças na tendência dos gráficos) nas séries de dados de desmatamento, agrotóxicos e IEXO	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação toxicológica dos agrotóxicos conforme as regras da OMS e ANVISA	31
Tabela 2 – Resumo do conjunto de dados	47
Tabela 3 – Subdivisão dos resultados do MapBiomias para a cobertura do solo	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AXA	Associação Xingu Araguaia
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CAT	Comunicação de Acidente de Trabalho
CID-10	Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde 10ª Revisão
DETER	Sistema de alerta de desmatamento e degradação florestal operado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
DDT	Dicloro-difenil-tricloroetano
DL ₅₀	Dosagem letal 50%
DOU	Diário Oficial da União
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENSP	Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FDA	United States Food and Drug Administration
GMO	Organismos geneticamente modificados (Genetically modified organisms)
GPS	Global Positioning System
IA	Ingrediente Ativo
IARC	International Agency for Research on Cancer
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM	Instituto de Proteção da Amazônia
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MST	Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra
NASA	National Aeronautics and Space Administration

OMS	Organização Mundial da Saúde
ONGs	Organizações não Governamentais
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAS	Organização Pan-Americana de Saúde
PIB	Produto Interno Bruto
PNAD	Pesquisa Nacional de Saúde
PPCDAm	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia
QGIS	Programa Quantum Gis
RV	Revolução Verde
SAFs	Sistemas Agroflorestais
SEEG/OC	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima
SER	Sensoriamento Remoto
SIGs	Sistema de Informação Geográfica
SIH/SUS	Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde
SINAN	Sistema de Informação de Agravos de Notificação
SUS	Sistema Único de Saúde
TABNET	Banco de dados de Informações de Saúde do Sistema Único de Saúde
UFMT	Universidade Federal do Mato Grosso
UN	United Nations
USP	Universidade de São Paulo
USGS	United States Geological Survey
UFs	Unidades da Federação
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	10
2 INTRODUÇÃO	12
3 REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1 DESMATAMENTO E EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA BRASILEIRA	21
3.2 BRASIL, DA “REVOLUÇÃO VERDE” AO CAMPEONATO MUNDIAL DOS AGROTÓXICOS.....	24
3.2.1 História e Química dos agrotóxicos	26
3.2.2 Registro e classificação de agrotóxicos	29
3.2.3 Glifosato e organismos geneticamente modificados (GMO).....	32
3.2.4 Alternativas existem?	35
3.3 PERIGO! RELAÇÃO ENTRE AGROTÓXICOS, AMBIENTE E SAÚDE.....	41
3.4 JUSTIFICATIVA	44
3.5 OBJETIVO GERAL	45
3.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	45
4 METODOLOGIA	47
4.1 DESENHO DE ESTUDO.....	47
4.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS	47
4.2.1 MapBiomias	48
4.2.2 IBAMA.....	50
4.2.3 DATASUS	51
4.3 ANÁLISE DOS DADOS.....	52
4.4 CONSTRUÇÃO DOS INDICADORES	54
4.5 QUALIDADE, PONDERAÇÕES E LIMITAÇÕES DOS DADOS EM SAÚDE PÚBLICA.....	58
5 RESULTADOS.....	62
5.1 ARTIGO 1.....	62
5.2 ARTIGO 2.....	83
5.3 ARTIGO 3.....	108
6 DISCUSSÃO	144
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	148
REFERÊNCIAS.....	151

1 APRESENTAÇÃO

Esta tese inclui-se em um processo amplo de reflexão sobre como a necessidade de aumentar descontroladamente a produção agrícola mundial, e especialmente a produção brasileira, pode trazer danos irreparáveis para as florestas, para o meio ambiente e para a sociedade em que vivemos. Trabalho este, inserido num contexto maior, que chamamos de Antropoceno brasileiro.

No capítulo 2, Introdução, argumenta-se sobre o crescimento da população mundial e o desafio de aumentar o tamanho das áreas agricultáveis para alimentar a crescente população. Além de um breve histórico sobre os modelos de agricultura mais proeminentes e antagônicos da atualidade: o agronegócio e a agricultura familiar.

No capítulo 3, Revisão da Literatura, é são apresentados de forma mais densa, os três pilares do presente trabalho: desmatamento, agrotóxicos e as intoxicações exógenas. Questões relacionadas ao desmatamento são tratadas no subcapítulo 3.1 'Desmatamento e expansão da fronteira agrícola brasileira'. Comentários sobre a história, química dos agrotóxicos e sua disseminação por todos os países do mundo, especialmente aqui no Brasil, são expostos no subcapítulo 3.2 'Brasil, da "Revolução Verde" ao campeonato mundial dos agrotóxicos', ademais de alternativas agrícolas possíveis para a redução e/ou extinção do uso de agrotóxicos. O subcapítulo 3.3 'Perigo! Relação entre agrotóxicos, ambiente e saúde' discorre sobre diversos problemas de saúde que podem estar relacionados, dando ênfase às intoxicações exógenas, com o uso indiscriminado de agrotóxicos. Na parte final do capítulo estão a Justificativa, o Objetivo Geral e os Objetivos Específicos.

O capítulo 4 trata da Metodologia da pesquisa, inicialmente, é esclarecida qual a classificação do estudo, de quais fontes os dados foram adquiridos, quais programas foram utilizados para a análise e geração de resultados, além de como foram construídos os indicadores de saúde. Mais adiante, o subcapítulo 4.5 'Ponderações sobre os dados de saúde' relata algumas dificuldades (vieses, subnotificação, confundimento, etc.) que podem surgir de acordo com o tipo de estudo e pelo fato de estarmos utilizando dados secundários, além de estratégias que podem reduzir erros e aumentar a validade dos resultados encontrados.

No capítulo 5, Resultados, estamos aproveitando os manuscritos (três no total) que geramos durante a construção da tese e expondo-os com resultados principais.

Resultados secundários dos artigos figuram em seus respectivos Apêndices. Seguindo a ordenação didática da tese, temos como primeiro mote o artigo sobre o desmatamento representado no subcapítulo 5.1. Em seguida, nos subcapítulos 5.2 apresentamos o artigo 2 como um perfil do consumo de agrotóxicos em alguns estados do Brasil e no subcapítulo 5.3 apresentamos o artigo 3, que tem por objetivo, investigar a associação o consumo de agrotóxicos com a taxa de internações por intoxicações exógenas.

A seguir, o capítulo 6 apresenta uma breve discussão sobre os resultados do capítulo anterior (referente aos artigos), na tentativa de costurar uma teia de acontecimentos para a narrativa da tese, partindo do desmatamento, passando pelo consumo de agrotóxicos e culminando nas intoxicações exógenas.

O capítulo 7, traz consigo as considerações finais da pesquisa e algumas ideias para trabalhos posteriores.

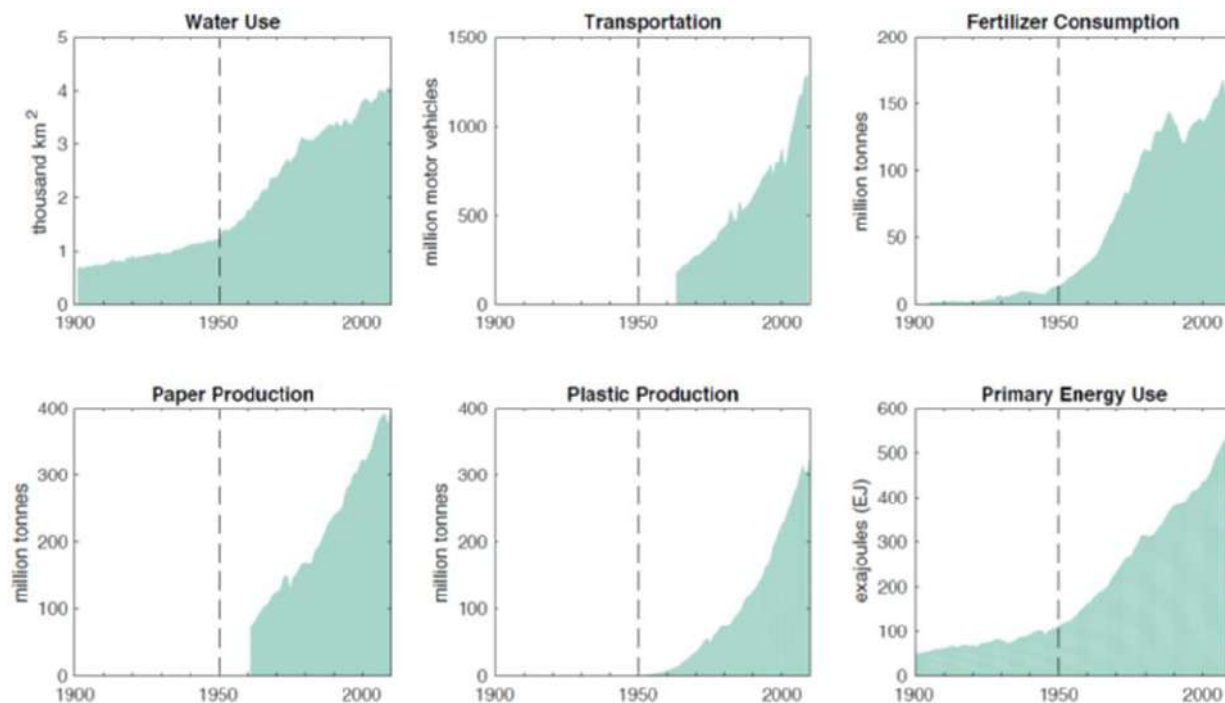
O capítulo 8 é destinado as Referências Bibliográficas.

2 INTRODUÇÃO

Desde que os primeiros grupos de *homo sapiens* evoluíram na África, por volta de 200.000 anos atrás (Lieberman, 2015), a humanidade cresceu e se dispersou por todos os continentes, habitando inclusive a inóspita e gélida Antártida. Até o início do século XIX da era Era Comum nossa população crescia, porém ainda não tínhamos alcançado 1 bilhão de pessoas. Todavia, nos últimos dois séculos, ocorreu um crescimento exponencial da população, aumentamos em mais de 700%, chegando a superar os 8 bilhões em 2022 (Worldometer, 2021a). Durante todo este processo de expansão, os seres humanos buscaram aumentar o espaço geográfico onde viviam, manejar e/ou explorar os recursos naturais existentes e elevar a quantidade de alimentos disponíveis. As florestas, devido à grande quantidade de recursos, são um dos principais alvos desta expansão (Ramakrishnan, 1998; Braibante; Zappe, 2012; Ünal; Birben; Bolat, 2019). Esta necessidade de propagação gerou muitos benefícios para a humanidade (agricultura, pecuária, mineração, desenvolvimento econômico, etc.). Entretanto, este desenvolvimento, nas diversas regiões do globo, quase sempre está atrelado a consequências desastrosas, para o meio ambiente, para os demais seres vivos e para nós mesmos (Coletta *et al.*, 2016; Silva; Prasad; Diniz-Filho, 2017; Daubenmire, 2019; Ünal; Birben; Bolat, 2019; Arshad *et al.*, 2020; Nathaniel; Bekun, 2020).

Com o advento da Revolução Industrial na segunda metade do século XVIII os malefícios gerados pela humanidade ao meio ambiente atingiram níveis ainda mais altos. Entretanto com relação a isto, nada se compara ao que ocorreu no período após a Segunda Guerra Mundial conhecido como Grande Aceleração onde diversos marcadores sociais de desenvolvimento cresceram de forma exponencial, como mostra a Figura 1.

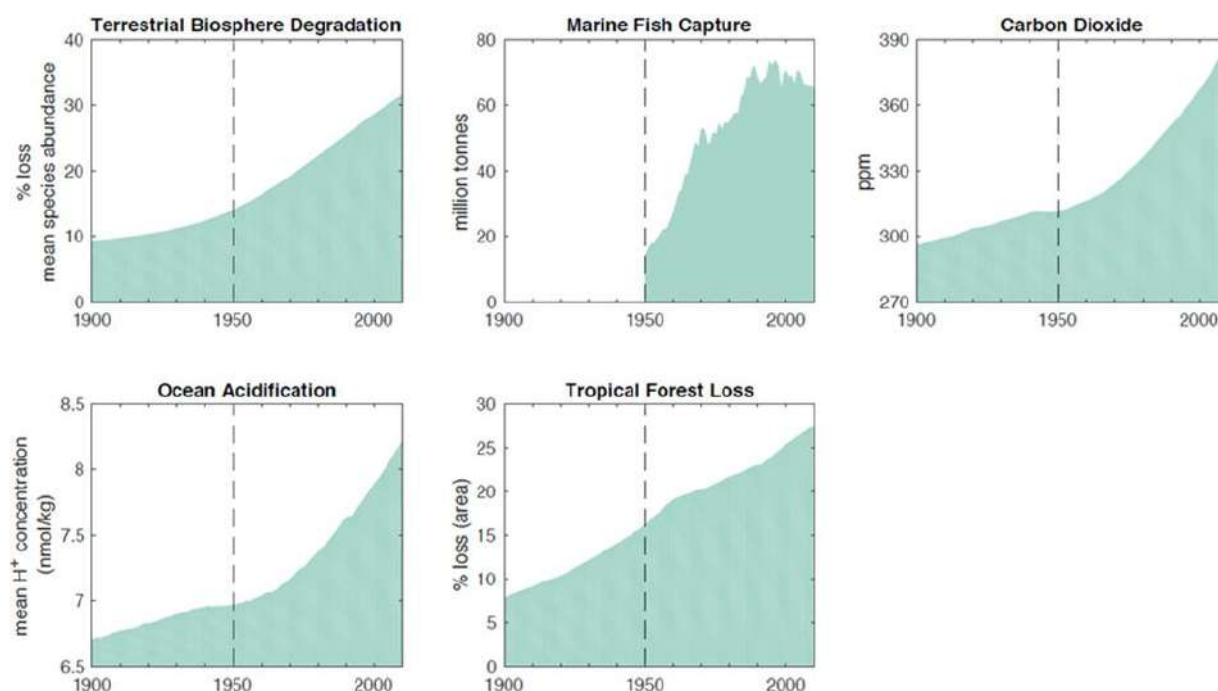
Figura 1 – Crescimento exponencial dos padrões mundiais de consumo após a Segunda Guerra Mundial: uso de água, transportes, consumo de fertilizantes, produção de papéis, produção de plástico e uso de energia primária



Fonte: Adaptado de (Steffen *et al.*, 2015a; Myers, 2017).

Percebemos pela observação da Figura 2 que o impacto nos sistemas naturais também cresceu na mesma proporção (Steffen *et al.*, 2015a; Myers, 2017).

Figura 2 – Padrões mundiais: degradação da biosfera, pesca, dióxido de carbono, acidificação dos oceanos e perda de florestas tropicais

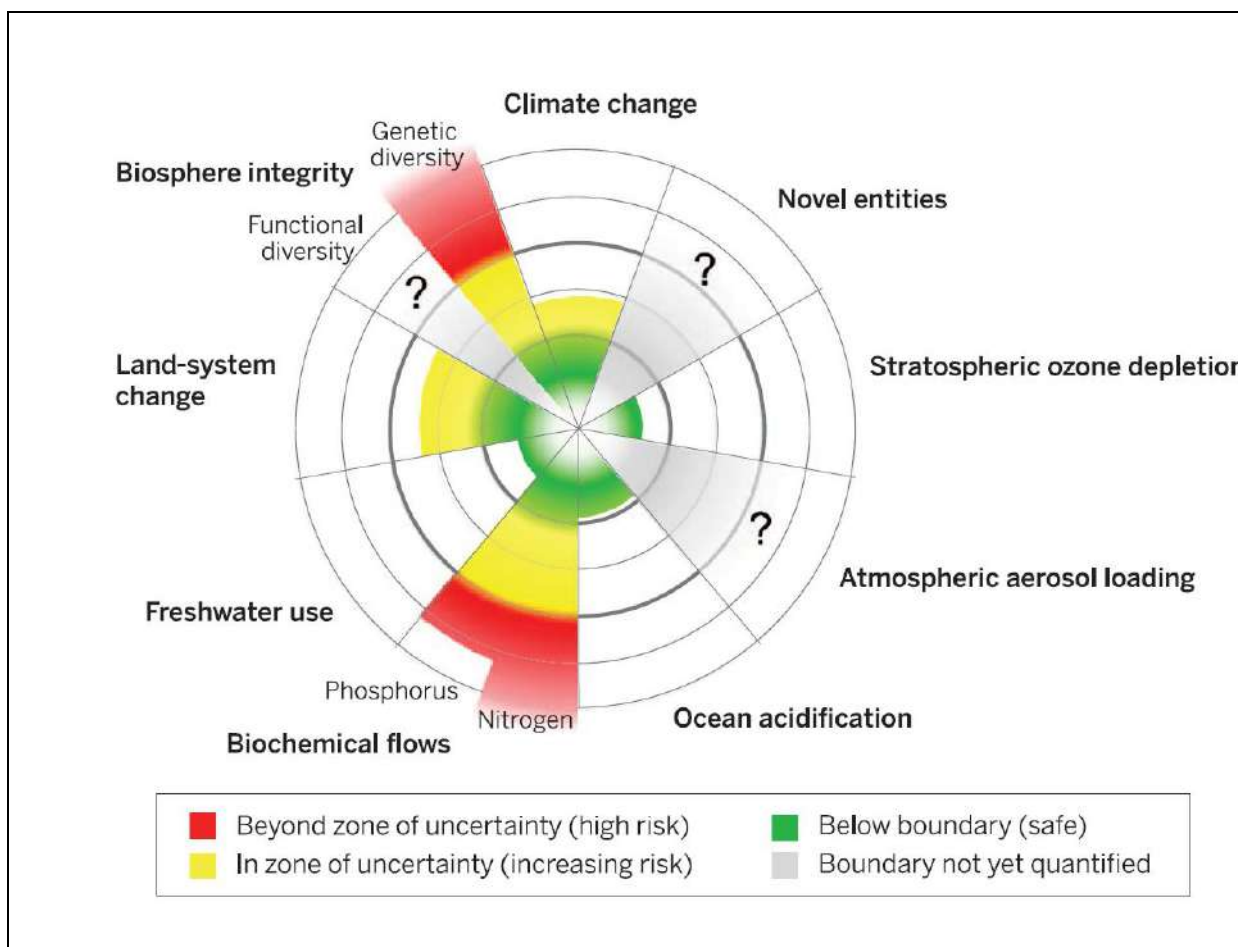


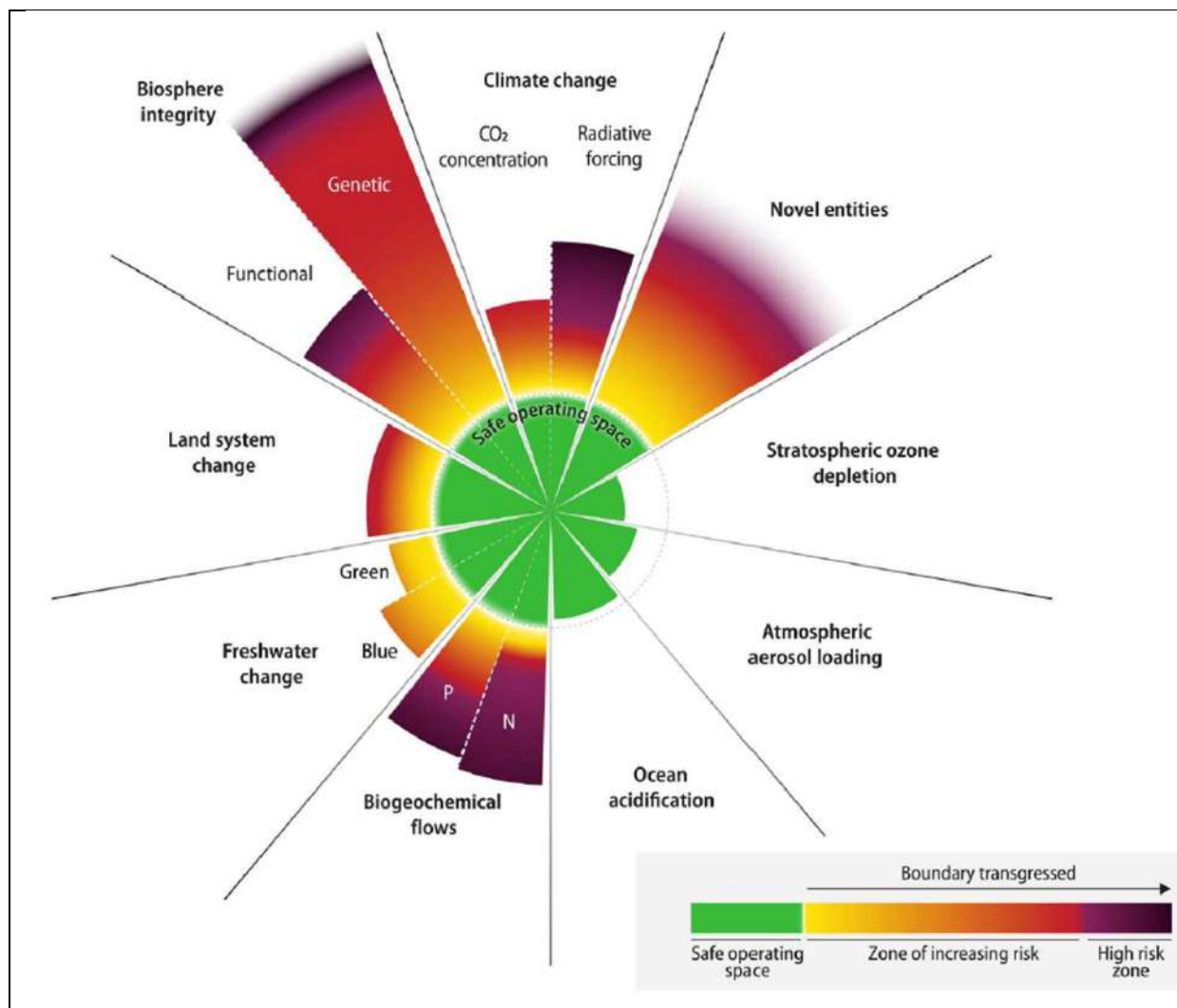
Fonte: Adaptado de (Steffen *et al.*, 2015a; Myers, 2017).

Resultados que nos chamam a atenção para o caminho que a humanidade está trilhando. A este estado da arte, em que a força da humanidade tornou-se tamanha que ameaça a sua própria existência e a dos outros seres vivos do planeta é que comumente (mas até então, não oficialmente) chamamos de Antropoceno (Crutzen, 2006; Artaxo, 2014; Haraway, 2016; Arbilla, 2018; Alves, 2020; Zalasiewicz; Waters; Williams, 2020). Um problema do termo Antropoceno está no fato deste indicar uma espécie de média, em que toda a humanidade compartilha de responsabilidade semelhante, essa aproximação parece ingênua, diversos países, corporações e regiões do planeta tem muito mais responsabilidade no Antropoceno do que outras e infelizmente aqueles menos culpados podem ser os mais afetados por suas consequências (Artaxo, 2014; Haraway, 2016; Arbilla, 2018; Alves, 2020). Como resposta ao Antropoceno, diversas soluções são propostas, alguns insistem na ideia de que nossos recursos são limitados e compreendem um outro tipo de sociedade no qual respeitamos e vivemos dentro de zonas de equilíbrio (nem com escassez, nem com excesso), um mundo delimitado por Fronteiras Planetárias (Planetary Boundaries) (Steffen *et al.*, 2015b; Richardson *et al.*, 2023), um exemplo deste pensamento com a situação de cada componente planetário pode ser

observado na Figura 3 (para um retrato mais atual da situação que evidencia um avanço na degradação do sistemas planetários ver (Richardson *et al.*, 2023). Uma outra ideia seria imaginar a quantificação do meio ambiente, ou seja, atribuir valor financeiro a natureza e ao “trabalho” que ela presta a humanidade de diversas formas como um modo de chamar a atenção de todos e assim melhorar o interesse e as condições para a preservação do meio ambiente (Seddon *et al.*, 2016).

Figura 3 – Fronteiras Planetárias em 2015 e atualizadas em 2023





Fonte: Adaptado de (Steffen *et al.*, 2015b) e (Richardson *et al.*, 2023).

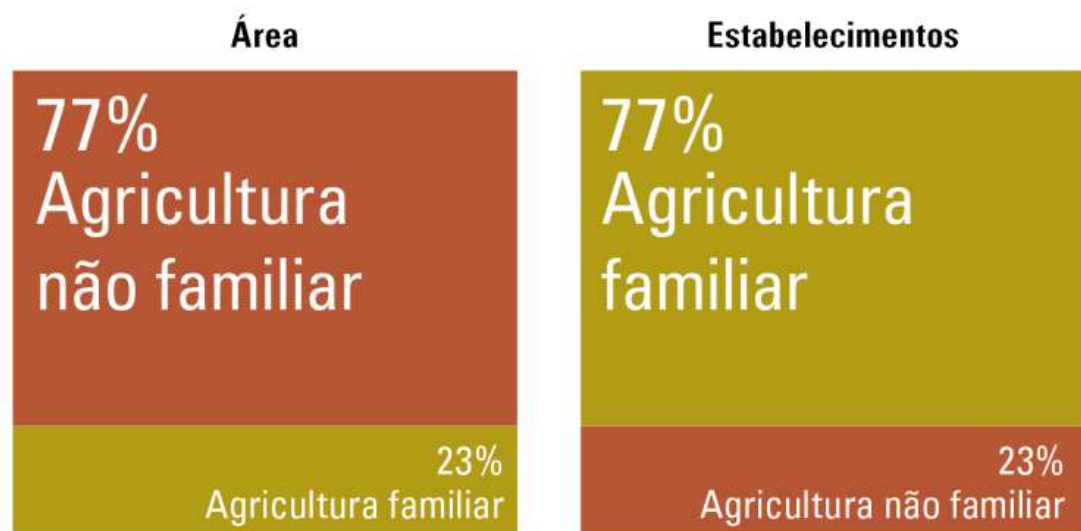
A Figura 2 apresenta em seu último quadro o aumento na perda das florestas tropicais (Tropical Forest Loss) (Steffen *et al.*, 2015a; Myers, 2017), assim como a Figura 3 expõe o estágio da mudança no sistema terrestre (Land-system change). Em 2015, época da publicação do artigo, esta variável encontrava-se na zona de incerteza (parte amarela), o que demonstrava um aumento no risco de que em pouco tempo a barreira do sustentável seria ultrapassada (Steffen *et al.*, 2015b). Com efeito, o artigo de (Richardson *et al.*, 2023) mostra que nos aproximamos cada vez mais de romper o limiar do que seria considerado uma zona de segurança para essa Fronteira Planetária, além de que 6 das 9 fronteiras já foram rompidas. Grande parte desta alteração no uso do solo tem relação com a busca por mais terras para o uso na agropecuária o que nos remete diretamente a situação brasileira. De modo geral sem o aumento da produtividade por área, quanto maior a quantidade de terras

agricultáveis, maior é a capacidade de produção de alimentos e neste contexto, podemos afirmar que nosso país possui quase uma infinidade de possibilidades (Rozenbaum; Leitão, 2006). O Brasil é o quinto maior país do mundo em território (Worldometer, 2021b) e de acordo com o Diário Oficial da União (DOU) nº 94 de 19/05/2020, conforme Portaria nº 177, de 15 de maio de 2020 nosso território oficial é de 8.510.295,914 km² (IBGE, 2021a). Além disso, nossa população está próxima dos 212 milhões de habitantes e aumentando (IBGE, 2021c), tornando o Brasil o sexto país mais populoso do mundo (Worldometer, 2021a). Não surpreende que com tantas terras à disposição e nosso passado como colônia, nosso país seja atualmente um dos maiores produtores de commodities¹ agrícolas do mundo (Rozenbaum; Leitão, 2006; Almeida *et al.*, 2017; Pignati; Oliveira; Silva, 2014; Pignati *et al.*, 2017; Embrapa, 2021a). Ainda sim, vale ressaltar que existem dois modelos distintos de produção de grãos no Brasil: a agricultura familiar e a agricultura não familiar.

Os estabelecimentos conhecidos como agricultura familiar foram classificados pela Lei 11.326/2006 e regulamentados pelo Decreto 9.064/2017 como estabelecimentos pequenos, conduzidos por uma única família, onde a atividade agrícola é responsável por no mínimo metade da renda familiar (Brasil, 2017a). Este tipo de instalação (muito comum no país) é responsável por grande parte dos alimentos que chegam à mesa dos brasileiros. Por meio deste sistema, que abrange mais de 3/4 de todos os estabelecimentos agrícolas brasileiros, são produzidos 80% do valor de produção da mandioca, 69% do abacaxi, 48% da banana e do café e 42% do feijão. Tudo isso utilizando menos de 1/4 da área produtiva existente no Brasil, de acordo com o Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2021b) e como mostra a Figura 2.

¹ Segundo o Cambridge Dictionary (2021a): substância ou produto que pode ser negociado, comprado e vendido, matéria-prima. De acordo com o Dicionário Online de Português (2021a): tudo aquilo que é apresentado em seu estado bruto (mineral, vegetal, etc.) e que pode ser produzido em larga escala. Exemplos: soja, trigo, milho, leite, petróleo, ouro.

Figura 4 – Proporção de área e quantidade de estabelecimentos entre agricultura familiar e agricultura não familiar



Fonte: Censo Agropecuário 2017



Fonte: Adaptado de Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2021b).

Por outro lado, a agricultura não familiar é geralmente composta por latifúndios², que contam com alta concentração de propriedade da terra, tendo a monocultura como modelo de produção, grande infraestrutura de armazenagem, comercialização e transporte dos grãos e dos materiais necessários à atividade, deterioração das relações trabalhistas e ampliação dos riscos socioambientais (Nasralla Neto; Lacaz; Pignati, 2014; Araújo; Oliveira, 2017). O modelo acima apresentado é adotado mundialmente e conhecido como “agribusiness” (Ardeleanu *et al.*, 2012). Aqui no Brasil é conhecido como “agronegócio” e é responsável por quase 40% das exportações e mais de 30% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, tendo por finalidade principal a exportação das commodities agrícolas produzidas por aqui para diversos países do mundo (Rozenbaum; Leitão, 2006; Nasralla Neto; Lacaz; Pignati, 2014; Serra *et al.*, 2016).

² Latifúndio é caracterizado no Art. 4º da LEI Nº 4.504 de 1964 como: extensas propriedades de terra agrícola privadas geralmente não exploradas, que quando o são estão sendo utilizadas para monocultura, com finalidade de abastecer com a produção de larga escala o mercado exterior (Brasil, 1964).

Em seu processo produtivo, o assim chamado agronegócio brasileiro, desdobra-se em várias etapas que causam estresse para o meio ambiente e para a saúde de seu trabalhador. Estágios como desmatamento, expansão da fronteira agrícola, extração de madeira, transporte e silagem colocam em risco o restante de nossas florestas e demais ecossistemas. Já etapas como a produção de sementes e seus insumos (combustíveis, agrotóxicos³, fertilizantes químicos) colocam em risco nascentes e redes de coletas de água das cidades, poluem o ar e alimentos e ainda trazem riscos diretos e indiretos para a saúde da população residente nas proximidades das lavouras (Pignati; Oliveira; Silva, 2014).

Não obstante, desde a assim chamada “Revolução Verde”, do advento e liberação para uso de sementes geneticamente tolerantes a agrotóxicos (um dos ingredientes da “receita” do agronegócio), que ocorreu inicialmente nos Estados Unidos em 1996 (Swanson *et al.*, 2014; Benbrook, 2016) e no Brasil em 2003, de acordo com a Lei Nº 10688 de 11 de junho de 2003, o uso de agrotóxicos aumentou significativamente (Brasil, 2001; Machado; Machado Filho, 2014; Caldas, 2016; Ramos, Rodrigo Ferraz; Andrioli; Betemps, 2018), fazendo do Brasil em 2008, o maior consumidor de agrotóxicos do mundo (Guazzelli, 2009; Carneiro, 2015; Nasralla Neto; Lacaz; Pignati, 2014; Serra *et al.*, 2016; Carvalho; Nodari; Nodari, 2017; Amazonas *et al.*, 2018).

Quais são os danos ao meio ambiente e à população em nível nacional, estadual e municipal, gerados por nosso modelo dominante de produção de grãos? Estamos desmatando nossos biomas e transformando-os em lavouras e/ou pastagens? Quais os biomas mais ameaçados atualmente? Após a “Revolução Verde” e a aplicação de organismos geneticamente modificados (GMO do inglês, *genetically modified organisms*) nas lavouras, estamos produzindo mais e melhor? O uso de agrotóxicos impediu que certa quantidade da lavoura se perdesse e por isso melhorou a quantidade produzida por hectare? Estamos utilizando mais agrotóxicos hoje do que utilizávamos no passado? Temos evidências de que os agrotóxicos usados aqui causam enfermidades na população? Existem modelos alternativos

³ De acordo com a Lei Nº 7802 de 1989 e o Decreto 4074 de 11 de julho de 2002, agrotóxicos são os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos (Brasil, 2001; Lopes, 2017).

viáveis que possam alimentar nossa crescente população? O presente trabalho tem por objetivo, apresentar resultados que possam melhorar nossa visão sobre algumas das perguntas acima.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 DESMATAMENTO E EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA BRASILEIRA

Faz algum tempo que o problema do desmatamento descontrolado está presente no que hoje conhecemos como Brasil. Desde que os primeiros europeus chegaram em nosso litoral, os biomas aqui existentes, vem sofrendo um processo de esgotamento contínuo, devido à exploração de suas riquezas, especialmente pela atividade de extração de madeira. Não surpreende o fato de que o nome atual de nosso país possivelmente derive de uma árvore, o pau-brasil. O maior exemplo deste processo é a Mata Atlântica que cobria mais de 1 milhão de km² do território nacional (o equivalente a 15% do total) e hoje possui apenas 12,4 % deste valor preservado (Drummond, 1996; Cabral; Cesco, 2008; Barreto, 2017; Barbosa; Lehfeld, 2018; SOS Mata Atlântica, 2020). Desmatamento aqui entendido como a remoção permanente da vegetação natural, ou seja, uma repentina transformação do solo com árvores para um solo sem árvores sem a possibilidade de um novo crescimento destas, conjuntamente com uma mudança efetiva na cobertura e uso do solo (Garcia, Andrea Santos; Ballester, 2016; Curtis *et al.*, 2018). No entanto, não somente este bioma⁴ que corta o Brasil de nordeste a sul, sofreu e sofre com a degradação intencional causada pela humanidade. Todos os seis biomas brasileiros, a saber: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, além do sistema Costeiro-Marinho (IBGE Educa, 2021) enfrentaram ao longo dos últimos séculos algum tipo de deterioração causada pelos seres humanos. Esta derrubada intencional da vegetação natural, especialmente na Amazônia e no Cerrado brasileiro atualmente, não é um fenômeno simples com causa específica e determinada, varia com o tempo e o espaço e experimenta como causas desde influências macroeconômicas até fatores locais (Nepstad *et al.*, 1997; Curtis *et al.*, 2018; Rocha *et al.*, 2019; Duarte *et al.*, 2020). Além do fato de que o desmatamento é considerado um dos principais marcadores da intervenção humana nos meios

⁴ De acordo com o IBGE EDUCA (2021), bioma é um conjunto de vida vegetal e animal, constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação que são próximos e que podem ser identificados em nível regional, com condições de geologia e clima semelhantes e que, historicamente, sofreram os mesmos processos de formação da paisagem, resultando em uma diversidade de flora e fauna própria.

naturais e um dos símbolos do Antropoceno (Myers *et al.*, 2013; Steffen *et al.*, 2015a; Whitmee *et al.*, 2015; Myers, 2017). Vejamos algumas de suas causas:

- Extração de madeira - atividade tão antiga e tão comum que possui um verbo específico no inglês (*logging*) que significa literalmente derrubada de árvores para o uso de sua madeira (Cambridge Dictionary, 2021b). A derrubada e comercialização da madeira são entendidas como uma das primeiras fases da mudança na cobertura e no uso do solo (junto com a construção de estradas de acesso), seguidas pelas da substituição da cobertura vegetal original por pastagens para animais e por fim a implantação de monoculturas (Arvor *et al.*, 2012; Garcia, Andrea Santos; Ballester, 2016);

- Aumento da densidade populacional e urbanização - em todas as partes do mundo onde civilizações se desenvolveram, existe conflito entre a urbanização e a preservação da vegetação natural, em especial as florestas que são fontes “quase ilimitadas” de recursos. Diferentes continentes, porém uma questão perene, como manter a taxa de crescimento populacional e a urbanização e ao mesmo tempo preservar os recursos naturais existentes? (Coletta *et al.*, 2016; da Silva; Prasad; Diniz-Filho, 2017; Ünal; Birben; Bolat, 2019; Arshad *et al.*, 2020; Nathaniel; Bekun, 2020). A população brasileira e mundial tem aumentado exponencialmente nos últimos dois séculos e provavelmente ainda crescerá por mais algumas décadas até atingir seu pico, e em sua busca por espaço também deixa um rastro de degradação em seus biomas naturais (Less; Less; Szlafsztein, 2018; Alho *et al.*, 2019);

- Incentivos fiscais e programas governamentais – no Brasil, o regime militar, por exemplo, incentivou uma massiva migração para o interior do país e o crescimento da atividade econômica em especial nas regiões Norte e Centro-Oeste, no que foi chamado de desenvolvimento “a qualquer custo”. Todavia, este processo não levou em consideração os impactos ambientais associados ao modelo de desenvolvimento capitalista (Nepstad *et al.*, 1997; Bampi *et al.*, 2017; Castelo *et al.*, 2018);

- Construção de rodovias - estradas tem um papel preponderante na percepção da degradação ambiental em todo o planeta, tendo por base o fato de que áreas florestais não acessíveis por estradas são consideradas mais protegidas e menos afetadas pelas atividades humanas em grande escala (Potapov *et al.*, 2008; Kleinschroth; Healey, 2017). Somente na região amazônica, mais de 90% do desmatamento ocorreu em zonas próximas até 5,5 km de uma estrada ou a 1 km de

um rio navegável. Muitas destas rodovias oficiais pavimentadas são construídas para o escoamento da extração de madeira (logging roads), no entanto, tanto o número de estradas regulares como estradas não regulamentadas e não pavimentadas tem crescido na Amazônia brasileira (Brandão Jr; Souza Jr, 2006; Barber *et al.*, 2014);

- Mineração - considerado um fator menos importante para o desmatamento, devido ao tamanho relativamente menor das minas quando comparadas às lavouras, a mineração tem gerado riqueza e causado estragos por todo o país. O desenvolvimento de infraestrutura para extração e processamento dos recursos minerais tem motivado o desmatamento tanto dentro das fronteiras da área concessionada para a mineração como fora dela. De fato, a degradação pode ser maior e mais intensa nas regiões adjacentes ao espaço da mineração, tendo o raio de 10 km da área explorada como região mais crítica (Sonter *et al.*, 2014; Alvarez-Berríos; Aide, 2015; Sonter *et al.*, 2017);

- Expansão da fronteira agrícola para a produção de commodities - diversos são os agentes atuantes para a perda da cobertura vegetal. Nas florestas temperadas e boreais temos como principais fatores a silvicultura⁵ e as queimadas, já nas florestas tropicais o principal agente causador de desmatamento é a mudança da cobertura e uso do solo para a produção de commodities agrícolas (Curtis *et al.*, 2018). Essa fronteira pode ser observada em diversos biomas nacionais: os Pampas no sul do país (Capoane; Kuplich, 2018), a região conhecida como Matopiba⁶ no norte/nordeste (Pereira; Pauli, 2016; Garcia, Junior Ruiz; Vieira Filho, 2017; Santos, João Francisco Severo, 2020) e especialmente nos estados da Amazônia Legal compreendidos no Arco do Desmatamento⁷ (Piontekowski *et al.*, 2014; Bampi *et al.*, 2017; Kastens *et al.*, 2017; Avelino, 2018; Fearnside, 2017). A Figura 3 apresenta um exemplo desta fronteira na região do Xingu Araguaia no Mato Grosso.

⁵ Silvicultura é o desenvolvimento de florestas com o intuito comercial, ecológico, científico e/ou social, podendo-se criar florestas com diversas espécies de árvores ou uma única espécie, realizando a exploração e manutenção de maneira racional. Exemplo: floresta de eucaliptos para a produção de celulose (USP, 2018).

⁶ Região do Cerrado brasileiro compreendida entre os estados de Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA) daí seu nome Matopiba, considerada a mais nova fronteira agrícola nacional (Embrapa, 2021b).

⁷ Região onde a fronteira agrícola avança em direção à floresta amazônica e também onde encontram-se os maiores índices de desmatamento da Amazônia. Terras que vão do leste e sul do Pará em direção oeste, passando por Mato Grosso, Rondônia e Acre (IPAM, 2015).

Figura 5 – Fronteira agrícola na região do Xingu Araguaia, Mato Grosso, Brasil



Fonte: Adaptado de Articulação Xingu Araguaia (AXA, 2019).

Como mostrado na Figura 2, quase 80% da agricultura no Brasil está nas mãos da agricultura não familiar, isto é, o agronegócio detém oito em cada dez hectares da terra agricultável do país. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), entre 1975 e 2017 nossa produção de grãos aumentou de 36 milhões de toneladas para 236 milhões enquanto a área destinada à agricultura dobrou de tamanho (Embrapa, 2021d). Vale ressaltar que este aumento na área plantada equivale a uma área do tamanho do estado de Rondônia (IBGE, 2021d), aqui cabem duas perguntas: Quais biomas tiveram sua área reduzida para o aumento da área agricultável? Qual modelo e quais técnicas foram aplicadas na produção para que ela expandisse nesta proporção ao longo dos últimos anos?

3.2 BRASIL, DA “REVOLUÇÃO VERDE” AO CAMPEONATO MUNDIAL DOS AGROTÓXICOS

O processo mundialmente conhecido como Green Revolution (GR), aqui no Brasil conhecido como Revolução Verde (RV), teve início nos Estados Unidos após o término da Segunda Guerra Mundial e espalhou-se por diversos países do mundo, em especial nas economias em desenvolvimento. Este modelo de agricultura tem

como premissas: a monocultura, o uso de tecnologia no campo, maquinário de grande porte, uso extensivo de material sintético e por fim organismos geneticamente modificados resistentes a estes produtos (Evenson; Gollin, 2003; Pingali, 2012; Machado; Machado Filho, 2014; Leite, 2016; Serra *et al.*, 2016; Ramos, Rodrigo Ferraz; Andrioli; Betemps, 2018). Dentro de um contexto de Guerra Fria, a expressão Green Revolution surge como o pensamento dos Estados Unidos (e do bloco capitalista) para a resolução do problema da fome no mundo (Serra *et al.*, 2016). Não há dúvidas de que aconteceram benefícios no que tange a produção mundial de alimentos, nos últimos sessenta anos a produção de alimentos triplicou, enquanto a população apenas dobrou e a área cultivada aumentou apenas 30% (Wik; Pingali; Brocai, 2008). Além disso, a Revolução Verde contribuiu para a redução da pobreza e do custo dos alimentos, evitando a fome de milhões de pessoas e com o aumento da produção por hectare, evitou a conversão de imensas áreas de vegetação natural em terras agricultáveis em diversas partes do planeta (Pingali, 2012).

Todavia, diversos malefícios também acompanharam a RV: a devastação de florestas devido à expansão da fronteira agrícola, degradação dos recursos hidrológicos e edáficos⁸ e o uso indiscriminado de agroquímicos que envenenam trabalhadores, meio ambiente e os alimentos produzidos no processo são alguns exemplos (Pingali, 2012; Hatt *et al.*, 2016; Serra *et al.*, 2016; Costa *et al.*, 2017).

Aqui no Brasil, ao governo militar foram apresentadas duas possibilidades para o aumento da produção agrícola nacional: a primeira defendia a reforma agrária como base para o aumento da produção e a segunda assumia que a adoção dos pacotes tecnológicos trazidos do exterior pela RV, mas sem tocar na questão fundiária, seria o melhor caminho. Os militares escolheram a segunda opção (Serra *et al.*, 2016).

Questões envolvendo a expansão da fronteira agrícola foram abordadas neste subcapítulo, agora falaremos de mais dois perigos da RV: os agrotóxicos e os organismos geneticamente modificados.

⁸ De acordo com o Dicionário Online de Português (2021b): que pertencem ou podem estar relacionados com o solo, que estão compreendidos nos limites do solo, aquilo que pode ser influenciado pelo solo.

3.2.1 História e Química dos agrotóxicos

Substâncias químicas utilizadas para o controle de pragas e doenças nos animais e vegetais receberam diversos nomes durante a história da humanidade: defensivos agrícolas, “*pesticides*” (pesticidas), praguicidas, remédios de plantas, veneno, etc. O desenvolvimento destas substâncias deve-se a tentativa dos seres humanos de melhorar sua condição de vida e amplificar a produção de alimentos. A discussão entre a nomenclatura é tão extensa quanto a discussão sobre seus efeitos deletérios à saúde (Peres; Moreira, 2003; Braibante; Zappe, 2012).

Com o fim da última Idade do Gelo por volta de 11.700 anos atrás, inaugurando assim o Holoceno, o clima global não só ficou mais quente como também mais estável. Índices pluviométricos e padrões de temperatura apresentaram-se com menos mudanças extremas de ano para ano e de década para década (Ditlevsen; Svensmark; Johnsen, 1996; Lieberman, 2015). Neste período, uma parte da humanidade abandonava o estilo caçador-coletor e começava a utilizar a agricultura. Deveras, tempo previsível e estável pode ser útil para caçadores-coletores, mas é indispensável para agricultores (Lieberman, 2015). As pequenas vilas (futuras cidades) começaram a estocar grãos, vegetais e carne. Esses estoques passaram a servir de alimentos para a crescente população de seres humanos e animais domesticados que ali viviam (Barbosa, 2004; Braibante; Zappe, 2012). No entanto, os campos cultivados e locais de estocagem também serviram de fontes de alimentos para fungos, bactérias, insetos e roedores que cresciam rapidamente devido à abundância de alimentos. Para combater estas “pragas” a humanidade tentou desde rituais religiosos até o desenvolvimento, já na era contemporânea, dos agrotóxicos (Braibante; Zappe, 2012).

Compostos orgânicos já eram utilizados no combate às “pragas” há mais de 2000 atrás, no entanto apenas no final do século XIX início do século XX foram desenvolvidos os primeiros inseticidas orgânicos sintéticos que começaram a ser utilizados em grande quantidade durante a Segunda Guerra Mundial. Falemos um pouco sobre três classes principais: os organoclorados, os organofosforados e os carbamatos. Os organoclorados são compostos que possuem pelo menos um átomo de cloro ligado a sua cadeia de carbono, são mais densos que a água, tem uma meia-vida longa. Portanto, podem persistir muito tempo no meio ambiente e na cadeia alimentar, sendo absorvidos pelos seres humanos através da pele, pulmões e

pela alimentação. Por seus riscos à saúde pública foram proibidos em diversos países do mundo nas últimas décadas do século XX (Borsoi *et al.*, 2014; Singh, 2016). O maior exemplo desta classe é o inseticida, Dicloro-difenil-tricloroetano conhecido internacionalmente como (DDT), que foi utilizado pela primeira vez em 1943 para combater piolhos que transmitiam tifo nas tropas aliadas durante a campanha europeia (D'amato; Torres; Malm, 2002; Flores *et al.*, 2004; Braibante; Zappe, 2012; Branco, 2013). O DDT em especial, acumula-se no tecido adiposo dos seres vivos e demora décadas para se degradar na natureza (Braibante; Zappe, 2012).

Devido à persistência ambiental e sua bioacumulação em animais e humanos os organoclorados foram substituídos pelos produtos organofosforados e carbamatos tais como o malathion, o clorpirifós, o carbaril (mais conhecido como chumbinho), o 2,4-D e o glifosato (Duke; Powles, 2008; Braibante; Zappe, 2012). Organofosforados (que tem como base o fósforo na case da cadeia de carbono) e carbamatos são os principais compostos dos componentes de herbicidas e inseticidas. Sua toxicidade vem da inibição da enzima acetilcolinesterase afetando o sistema nervoso dos seres vivos terrestres e aquáticos (Borsoi *et al.*, 2014; Sidhu *et al.*, 2019). Como vantagem sobre os organoclorados, os organofosforados degradam mais rapidamente quando expostos à luz do sol, aos ventos e ao solo (Dhas; Srivastava, 2010; Sidhu *et al.*, 2019), e em sua maioria são solúveis em água (Balderacchi *et al.*, 2013; Sidhu *et al.*, 2019). São utilizados mundialmente na agricultura, fabricação de plásticos, controle de vetores e nas atividades domésticas (Borsoi *et al.*, 2014; Sidhu *et al.*, 2019).

Vale ressaltar que a descoberta, produção, comercialização e os riscos dos compostos químicos para consumo humano não passaram despercebidos pela comunidade científica e pela população em geral. O primeiro grande exemplo deste movimento foi a publicação em 1962 pela bióloga marinha americana Rachel Carson (1907-1964) do livro *Silent Spring* (Primavera Silenciosa) que trazia a público denúncias sobre os efeitos deletérios do DDT no conjunto da biodiversidade (Carson, 1964; Jardim; Andrade; Queiroz, 2009; Braibante; Zappe, 2012; Bonzi, 2013; Carvalho; Nodari; Nodari, 2017). Considerada hoje, uma obra fundadora do movimento ambientalista moderno (Lytle, 2007; Bonzi, 2013; Carvalho; Nodari; Nodari, 2017) seu título diz respeito ao fato de que o uso descontrolado de pesticidas para matar alguns tipos de “pragas” acabava matando inúmeros outros

animais (especialmente aves) gerando assim uma primavera sem o canto dos pássaros, ou seja, uma primavera silenciosa. Rachel Carson considerada a “mãe do ambientalismo” relata inúmeros casos de extermínios da biodiversidade ocorridos nos Estados Unidos que estariam relacionados ao uso de pesticidas.

Os historiadores futuros bem poderão sentir-se admirados em face do nosso distorcido senso das proporções. Como poderiam seres inteligentes procurar controlar umas poucas espécies não desejadas, por meio de um método que pode contaminar todo o meio ambiente, e que corporifica ameaça de enfermidades e morte até mesmo para a sua própria espécie? Não obstante, é precisamente isto que nós fizemos. (Carson, 1964, p. 18–19 *apud* Carvalho; Nodari; Nodari, 2017).

Figura 6 – Rachel Carson em uma audiência no Senate Government Operations subcommittee sobre o perigo dos pesticidas



Seu livro *Silent Spring* tornou-se um marco para o ambientalismo moderno e para a luta contra o perigo dos agrotóxicos.

Fonte: Adaptado de (Rachel Carson Council, 2021; Heritage Auctions, 2021).

Com o passar do tempo, diversas publicações, cientistas, Organizações não Governamentais (ONGs) e a população tem denunciado por todas as partes do mundo os malefícios causados pelos agrotóxicos à saúde humana e ao meio ambiente (Carvalho; Nodari; Nodari, 2017; Hess, 2018). É notório que vários agrotóxicos foram banidos em diversos países ao longo dos anos, o próprio DDT foi banido primeiramente na Hungria em 1968, Noruega e Suécia em 1970, Alemanha e Estados Unidos em 1972 e no Brasil infelizmente apenas em 2009. Hoje, seu uso

está restrito a casos especiais de controles de “pragas” em mais de 180 países (PEREIRA, 2012; Bonzi, 2013). Todo este esforço ainda não impediu que uma multitude de produtos químicos fossem desenvolvidos e comercializados em lavouras da Revolução Verde por todo o mundo, mas trouxe a discussão para o cerne de uma sociedade que acreditava numa “vida melhor através da química” que este modelo de desenvolvimento tem consequências graves para a sobrevivência de todas as espécies do planeta, inclusive os seres humanos (Bonzi, 2013). Vejamos a seguir como estes produtos químicos chamados agrotóxicos são divididos e classificados aqui no Brasil.

3.2.2 Registro e classificação de agrotóxicos

Atualmente, conforme a Food and Agriculture Organization (FAO), Organização das Nações Unidas (ONU) para a Alimentação e Agricultura, são considerados agrotóxicos:

qualquer substância, ou mistura de substâncias, usadas para prevenir, destruir ou controlar qualquer praga – incluindo vetores de doenças humanas e animais, espécies indesejadas de plantas e animais, causadoras de danos durante (ou interferindo na) a produção, processamento, estocagem, transporte ou distribuição de alimentos, produtos agrícolas, madeira e derivados – ou que deva ser administrada para o controle de insetos, aracnídeos e outras pestes que acometem os corpos de animais de criação (FAO, 2003; Peres; Moreira, 2003).

No Brasil, a Lei nº 7802 de 11 julho de 1989, regulamentada pelo artigo nº 1 do Decreto 4074 de 4 de janeiro de 2002 considera como agrotóxicos e afins:

IV - agrotóxicos e afins - produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento [...] (Serra *et al.*, 2016; Lopes, 2017).

A avaliação e o registro de um agrotóxico no Brasil, de acordo com artigos 5º, 6º e 7º do Decreto 4074 de 11 de julho de 2002, respectivamente é de competência de três ministérios, a saber:

- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) – avalia a competência agrônômica de um composto classificado como agrícola e concede seu registro;
- Ministério da Saúde – avalia e classifica, por meio da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), toxicologicamente todos os tipos de agrotóxicos e concede registro a agrotóxicos não agrícolas destinados a indústrias e domicílios;
- Ministério do Meio Ambiente – na figura do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), regulamenta e avalia agrotóxicos não agrícolas destinados a ambientes híbridos e concede registro. Ainda pericia e classifica os agrotóxicos quanto ao potencial de periculosidade (Serra *et al.*, 2016).

O termo agrotóxico aqui reflete uma gama de compostos sintéticos com diferentes finalidades que são classificados de acordo com o grupo químico que pertencem e à “praga” a ser controlada: herbicidas (controle de plantas indesejadas), inseticidas (controle de insetos), fungicidas (controle de fungos), fumigantes (controle de bactérias do solo), algicidas (controle de algas), avicidas (controle de aves), nematicidas (controle de nematoides), moluscicidas (controle de moluscos), acaricidas (controle de ácaros), reguladores de crescimento, desfolhantes (controle das folhas indesejadas) e dissecantes (Peres; Moreira, 2003; Silva; Fay, 2004; Baird, 2006; Braibante; Zappe, 2012).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a avaliação e classificação de um agrotóxico é baseada em parâmetros físico-químicos e toxicológicos que fundamentam qualquer alteração, restrição, concessão ou não do registro do mesmo (Peres; Moreira, 2003; WHO, 2019). Esta classificação está de acordo com testes laboratoriais que visam estabelecer qual é a quantidade de substância necessária para exterminar 50% dos animais testados nas condições experimentais utilizadas, quantidade esta conhecida como dosagem letal 50% (DL₅₀). A letalidade de uma substância depende de sua concentração no corpo do indivíduo testado, por isso a DL₅₀ é expressa em miligramas de substância por quilograma de massa corporal (mg/kg) (Peres; Moreira, 2003; Braibante; Zappe,

2012; WHO, 2019). Atualmente no Brasil, em conformidade com estes parâmetros, os agrotóxicos são classificados como mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Classificação toxicológica dos agrotóxicos conforme as regras da OMS e ANVISA

Classe	Toxidade	DL ₅₀ (mg/kg) oral	Cor do rótulo
Ia	Extremamente Tóxico	DL ₅₀ < 5	Red
Ib	Altamente Tóxico	5 < DL ₅₀ < 50	
II	Moderadamente Tóxico	50 < DL ₅₀ < 2000	Yellow
III	Pouco Tóxico	2000 < DL ₅₀ < 5000	Blue
U	Improvável de causar dano agudo	5000 < DL ₅₀	Green
FM	Fumigante ou não classificado	-	

Fonte: Adaptado de: (WHO, 2019; ANVISA, 2019).

Cabem algumas ressalvas a esta classificação. As classes toxicológicas dos ingredientes ativos, pelo método como é calculada a DL₅₀, consideram apenas efeitos agudos, isto é, apenas efeitos ocorridos em uma única exposição laboratorial. Efeitos que apareceriam somente em exposições prolongadas e crônicas que podem incluir danos nas funções imunológicas, hormonais e até câncer, não são considerados (Friedrich, 2013; Carneiro, 2015; Amazonas *et al.*, 2018). Agrotóxicos como o inseticida diflubenzuron e o herbicida glifosato, considerados pouco tóxicos pela DL₅₀, podem estar associados a efeitos crônicos graves e irreversíveis nos seres humanos, danos ao material genético e câncer (Amazonas *et al.*, 2018) no entanto, estes efeitos não são captados pela tabela acima. Decerto, a discussão sobre toda a extensão dos efeitos do glifosato relacionados a diversos desfechos de saúde (por exemplo alguns problemas relacionados à gravidez) ainda não tenha alcançado conclusões definitivas, indicando a necessidade de mais trabalhos, especialmente nos países onde existem extensivas culturas de soja geneticamente modificada (caso do Brasil) e onde o herbicida é utilizado em larga escala (Araujo; Delgado; Paumgarten, 2016; Gillezeau *et al.*, 2019).

Apresentados como um dos ingredientes da cartilha da RV, adotados em larga escala mundialmente e especialmente pelo agronegócio no Brasil, agrotóxicos como o glifosato tem sua eficiência elevada quando utilizados em conjunto com plantas que são resistentes aos seus efeitos. A combinação entre os organismos geneticamente modificados e o herbicida mais vendido no planeta é o tema do próximo subcapítulo.

3.2.3 Glifosato e organismos geneticamente modificados (GMO)

Em 2008, o Brasil se tornou pela primeira vez o maior consumidor de agrotóxicos do mundo (Guazzelli, 2009; Nasralla Neto; Lacaz; Pignati, 2014; Carneiro, 2015; Serra *et al.*, 2016; Carvalho; Nodari; Nodari, 2017; Amazonas *et al.*, 2018) e mesmo que esta posição não tenha se mantido nos anos posteriores, o país sempre figurou no ranking dos principais consumidores de agrotóxicos do mundo (Zhang, 2018) retornando ao topo em 2022 (FAO, 2024). O glifosato é o herbicida mais vendido do planeta (Service, 2007; Duke; Powles, 2008; Bonny, 2016; Bain *et al.*, 2017; Scarrow, 2017; Teixeira; Paula; Napolitano, 2019). Além disso, entre 2009 e 2016, o glifosato e seus sais foram os agrotóxicos mais utilizados no país (IBAMA, 2016; Teixeira; Paula; Napolitano, 2019). Finalmente, os organismos geneticamente modificados são um dos motores que levaram este agrotóxico, até então comum, ao topo do ranking mundial (Young, 2006; Duke; Powles, 2008; Peshin; Zhang, 2014; Swanson *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2017; Benbrook, 2016; Daubenmire, 2019).

Figura 7 – Glifosato, o agrotóxico mais utilizado do mundo



Fonte: Adaptado de Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST, 2015).

Isto posto, muito do que falamos hoje sobre agrotóxicos tem inevitavelmente relação com esta simples molécula, $C_3H_8NO_5P$, que conhecemos como glifosato (Amarante Junior *et al.*, 2002; Teixeira; Paula; Napolitano, 2019). Sintetizada pela primeira vez em 1950 pelo químico suíço Dr. Henri Martin, que por trabalhar em uma empresa farmacêutica (Cilag) e por não identificar nenhuma aplicação do mesmo em sua área de estudo, não pode explorar o potencial de sua descoberta. Em seguida, a companhia foi vendida e com ela suas patentes cruzaram o Atlântico e chegaram à americana Monsanto Chemist. Foi o químico americano John E. Franz que identificou o potencial herbicida do glifosato e o patenteou em 1970, sendo este comercializado pela primeira vez em 1974 (Franz; Mao; Sikorski, 1997; Duke; Powles, 2008; Benbrook, 2016; Teixeira; Paula; Napolitano, 2019).

Paralelamente, uma bactéria resistente a antibióticos foi o primeiro GMO, produzido pelos americanos Hebert Boher e Stanley Cohen em 1973 (Cohen *et al.*, 1973; Rangel, 2015; Daubenmire, 2019). Inicialmente pensados para solucionar questões no campo da medicina, os GMO também foram vistos como opção para solucionar outro problema: melhorar a qualidade da alimentação de uma população mundial exponencialmente crescente (Daubenmire, 2019). Duas décadas depois, em 21 de março de 1994, o primeiro alimento geneticamente modificado desenvolvido pela empresa Calgene, era aprovado pela United States Food and Drug Administration (FDA) e chegava às prateleiras americanas, era um tomate conhecido como Flavr Savr. Apesar dos esforços, houve muita resistência do público e o produto, que era apresentado como “*premium*”, de qualidade melhor e por isso mais caro, não mostrou-se muito rentável (Redenbaugh *et al.*, 1994; Bruening; Lyons, 2000; Daubenmire, 2019). Outros alimentos vieram em seguida: mamão, arroz (Smith, 2015; Daubenmire, 2019), etc. Até que em 1996, a história dessas duas tecnologias se entrelaçam, com a aprovação nos Estados Unidos dos assim chamados “Round Ready”, sementes geneticamente modificadas (inicialmente soja, milho e algodão) que poderiam a partir de agora ser utilizadas em larga escala na lavoura americana e eram tolerantes a herbicidas como o glifosato (Swanson *et al.*, 2014; Benbrook, 2016; Bain *et al.*, 2017).

Figura 8 – Milho, algodão e soja foram as primeiras lavouras geneticamente modificadas do mundo



Fonte: Adaptado de (AGNEWS, 2018).

A partir deste momento o uso de agrotóxicos e especialmente o uso de glifosato nas plantações aumentou significativamente (Duke; Powles, 2008; Swanson *et al.*, 2014; Fritschi *et al.*, 2015; Benbrook, 2016; Bonny, 2016; Almeida *et al.*, 2017; Bain *et al.*, 2017). O agronegócio mundial então começou uma campanha pela substituição das sementes antigas em favor das mais “modernas” e geneticamente modificadas. Este movimento espalhou-se por todo o globo, inclusive aqui no Brasil, e embora estas sementes já fossem comercializadas aqui ilegalmente desde o final da década de 1990, sua consolidação oficial ocorreu apenas com a Lei nº 10688 de 13 de junho 2003 (Almeida *et al.*, 2017) que definia regras sobre a utilização da soja a ser plantada no país. E o que já ocorria em outras partes do mundo, passou a ocorrer também aqui, o crescimento significativo do uso de agrotóxicos, tornando o glifosato o herbicida mais utilizado do país na última década (IBAMA, 2016; Teixeira; Paula; Napolitano, 2019).

O uso extensivo e ininterrupto do glifosato nas lavouras tem gerado diversas consequências negativas para o meio ambiente e para a população em várias partes do mundo (Curvo; Pignati; Pignatti, 2013; Swanson *et al.*, 2014; Benbrook, 2016; Vazquez *et al.*, 2017). Apesar do fato de que trabalhos mais antigos considerarem o glifosato um herbicida mais benigno para o ambiente que os demais e não cancerígeno para humanos (Franz; Mao; Sikorski, 1997; Cerdeira; Duke, 2006; Duke; Powles, 2008) ele foi reclassificado, em 2015, como possivelmente cancerígeno para humanos pela International Agency for Research on Cancer

(IARC), agência da OMS para a pesquisa do câncer (Fritschi *et al.*, 2015; Bonny, 2016; Bain *et al.*, 2017).

Por fim, algumas perguntas pairam no ar. Será que os benefícios com o aumento da produção de alimentos, considerada a solução para o equilíbrio da balança comercial e das contas externas do país (Rozenbaum; Leitão, 2006), compensam os riscos trazidos pelo pacote de inovações trazido pelo agronegócio? Pesquisas mostram que para cada US\$ 1 (um dólar) investido em agrotóxicos, são necessários US\$ 1,28 (um dólar e vinte e oito centavos) do Sistema Único de Saúde (SUS) para cuidar de disfunções ocasionadas por eles (Serra *et al.*, 2016). Outros autores afirmam que se utilizado dentro dos padrões o glifosato, por exemplo, não causa nenhum mal para os seres humanos (Williams; Kroes; Munro, 2000; Duke; Powles, 2008). No entanto, será mesmo uma questão de má utilização? Uma discussão mais profunda sobre o modelo predominante é necessária. É possível pensar em alternativas viáveis para a produção mundial de alimentos? Este é o tema do próximo subcapítulo.

3.2.4 Alternativas existem?

A Figura 7 resume bem o modelo de agricultura dominante no Brasil e no mundo, criado e incentivado pelas grandes empresas transnacionais: uma monocultura instalada em um lugar onde a vegetação natural foi completamente removida, silos de estocagem de grãos ao fundo, uso de tecnologia representada pelo avião, uso extensivo de insumos não naturais representados pela pulverização do agrotóxico sobre a lavoura e pouca ou nenhuma preocupação com os efeitos deste processo sobre o meio ambiente e sobre os seres vivos. Recapitulando, a Revolução Verde foi a forma encontrada pelo capitalismo para consolidar-se no campo (Zamberlam; Fronchetti, 2001; Gaboardi; Candiottto, 2015; Saragoso; Machado; Garcia, 2019; Serra *et al.*, 2016).

Figura 9 – Pulverização aérea da lavoura



Fonte: Adaptado de (MST, 2020a).

Apesar da grande capacidade de produção de alimentos, este modelo não cumpriu uma de suas promessas centrais: acabar com a fome no mundo (Brito; Maciel, 2016; Ching, 2018; Silva *et al.*, 2018;). De acordo com um relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) em 2019, apesar de uma crise de sobrepeso e obesidade estar ocorrendo em todas as partes do planeta, 10,8% da população mundial (o equivalente a 821,6 milhões de pessoas) são consideradas subnutridas⁹, com prevalências de subnutrição ainda maiores em algumas partes do globo como: o leste da África (30,8%), a África Subsaariana (22,8%), a África Central (26,5%) e o Caribe (18,4%) (FAO, 2019). A ambição da meta número 2 da Agenda 2030 das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável, do qual o Brasil é signatário, que é construir um mundo sem fome, parece muito longe de tornar-se real (United Nations, 2015b; ONU Brasil, 2015; Ching, 2018).

Somando-se a isso todos os danos causados ao meio ambiente e aos seres humanos já relatados neste e em outros trabalhos (Pingali, 2012; Hatt *et al.*, 2016;

⁹ Subnutrição entendida aqui como: estimativa da proporção da população que carece de energia alimentar suficiente para uma vida saudável e ativa (FAO, 2019).

Serra *et al.*, 2016; Costa *et al.*, 2017), fica claro que o sistema atual precisa de uma revisão em suas bases (Brito; Maciel, 2016; Hatt *et al.*, 2016; Ching, 2018). Daí a pergunta, alternativas existem? Sim, alternativas existem!

Uma das alternativas mais promissoras é a Agroecologia, entendida como uma ciência, um movimento social, uma ação política governamental, uma profissão, um modo de vida, uma ideologia e uma prática multidisciplinar e transdisciplinar (Leff, 2002; Norder *et al.*, 2016; Ching, 2018; Saragoso; Machado; Garcia, 2019; Matias *et al.*, 2020). Este é um conceito amplo, mas podemos compreender a Agroecologia como um processo de aplicação de conceitos e princípios ecológicos nas práticas agrícolas (Altieri, 1999; Hatt *et al.*, 2016; Matias *et al.*, 2020) tendo como objetivos principais: redesenhar os sistemas alimentares “from farm to fork”, ou seja, da fazenda até o garfo da população, reduzir o uso de insumos químicos (não naturais) no processo de produção e alterar o modelo de produção de alimentos para que este alcance a sustentabilidade econômica, ambiental e social (Gliessman, 2016; Hatt *et al.*, 2016; Ching, 2018; Silva *et al.*, 2018). Fica a questão de se a Agroecologia poderia alimentar toda a população mundial. Neste sentido, diversos estudos em diferentes partes do mundo como Europa (Van Der Ploeg *et al.*, 2019), México (Sampson, 2018), Região Andina (Altieri; Rosset; Thrupp, 2020) mostram que mesmo com sérias dificuldades de implementação em países subdesenvolvidos (Borsari, 2024) a produtividade de um sistema agroflorestal não é inferior a dos sistemas atuais e convencionais. Além de melhorar as condições sociais e a segurança alimentar dos produtores locais (Altieri; Rosset; Thrupp, 2020; Sampson, 2018; Stroparo, 2022).

Pensando por este ponto de vista, a Agroecologia não é uma reforma do atual modelo e sim uma revolução, uma mudança de paradigma nos sistemas alimentares (Gliessman, 2016; Ching, 2018; Gonçalves *et al.*, 2019; Matias *et al.*, 2020), no como lidamos com a agricultura e com suas consequências para nós mesmos e para o meio ambiente (Leff, 2002; Saragoso; Machado; Garcia, 2019; Gliessman, 2016). A saída para um mundo que caminha a passos largos para o esgotamento de seus recursos naturais não está em agarrar-se às regras no dogma produtivista do sistema atual, mas sim transcende-las através de um novo conhecimento (Leff, 2002; Saragoso; Machado; Garcia, 2019). Para alcançarmos este nível profundo de transformação, algumas mudanças técnicas serão necessárias:

- Rotação de culturas (crop rotation) - consiste em alternar no tempo o cultivo de espécies vegetais em um mesmo lugar, preferencialmente com espécies que possuam sistemas radiculares diferentes. A monocultura do sistema atual promove ao longo do tempo degradação química, física e biológica do solo. Este processo diminui a produtividade, gera erosão, desequilíbrios ambientais, contribui para o aparecimento de “pragas”, ervas daninhas e aumenta o consumo de agrotóxicos (Embrapa, 2007, 2011; Franchini *et al.*, 2011; Ching, 2018; Gonçalves *et al.*, 2019);
- Policulturas - sistemas agrícolas, geralmente utilizados em pequena escala pelas comunidades tradicionais, nos quais duas espécies ou mais de vegetais são cultivados com certa proximidade e ao mesmo tempo. A complementação biológica entre as espécies torna mais eficiente o uso dos nutrientes, o controle de “pragas”, amplifica a quantidade e diversidade de pássaros ao redor e aumenta a estabilidade da produção da lavoura (Yahya *et al.*, 2017; Ching, 2018; Almeida; Udry, 2019; Embrapa, 2019);
- Sistemas Agroflorestais (SAFs) - também conhecidos como agrossilvicultura, são uma forma de uso do solo onde árvores e arbustos são utilizados em conjunto com a agricultura (e pecuária) na mesma área como mostrado na Figura 8. As árvores podem estar localizadas dentro do campo ou em suas bordas, estas modificam o microclima da região, aumentam a fixação de nitrogênio e carbono no solo, renovam a matéria orgânica ajudando na conservação do solo, da água, da biodiversidade e ainda na absorção de carbono da atmosfera (Embrapa, 2013; Macedo, 2013; Pardon *et al.*, 2017; Ching, 2018; Embrapa, 2021c).

Figura 10 – Sistemas Agroflorestais



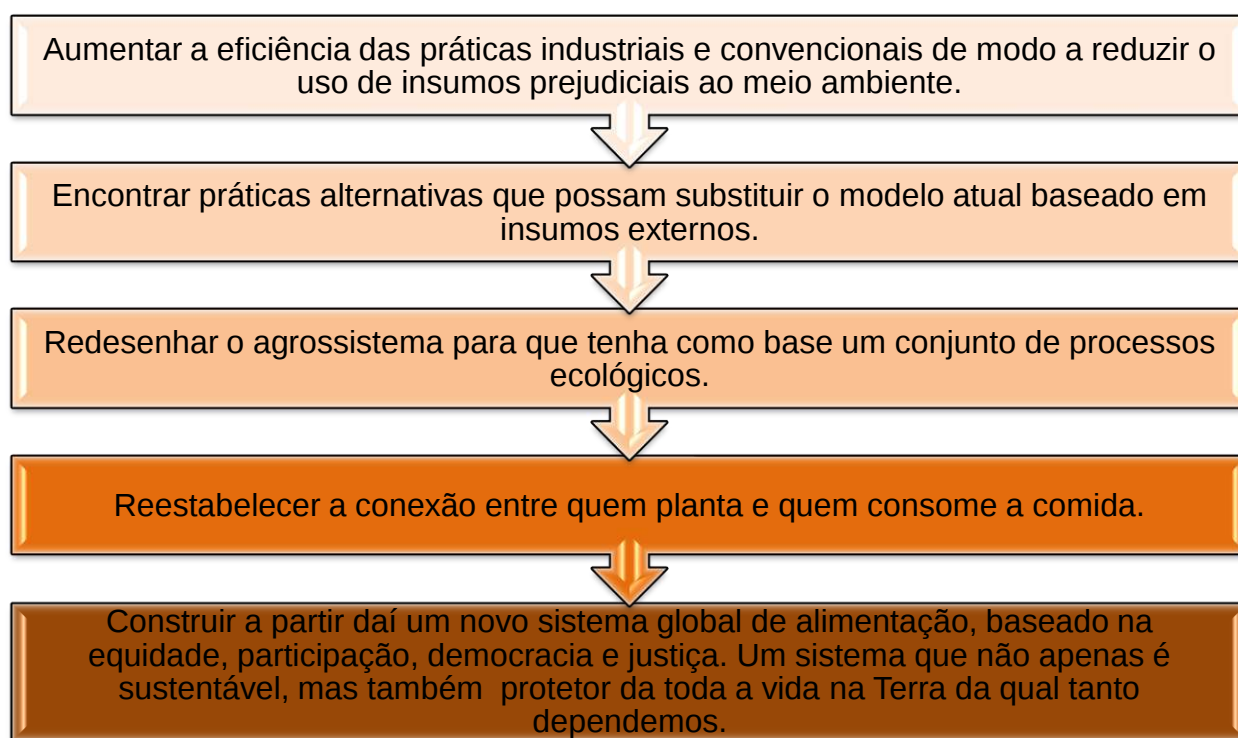
Fonte: Adaptado de (Mata Nativa, 2017).

- Plantas de cobertura e cobertura morta (mulching) – a utilização de plantas gramíneas na cobertura do solo reduz a erosão, restaura quantidades significantes de nutrientes ao solo e amplifica o controle biológico de pestes. Plantas de cobertura absorvem nutrientes nas camadas mais profundas do solo e depois os liberam na superfície através da sua decomposição de resíduos. De igual natureza, a técnica da cobertura morta com materiais orgânicos aumenta a quantidade e qualidade da produção, melhora o controle sobre a temperatura e umidade do solo e reduz a sua evaporação. (Chakraborty *et al.*, 2008; Torres; Pereira; Fabian, 2008; Embrapa, 2017; Kader *et al.*, 2017; Ching, 2018; Pacheco *et al.*, 2018);
- Adubação “verde” – técnica de plantio de espécies nativas e/ou introduzidas, cultivadas em rotação ou consórcio com a lavoura de interesse principal. Estas plantas, em geral leguminosas, são utilizadas para melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo. Através da associação com bactérias, ajudam a fixar o nitrogênio do ar transferindo-o para as plantas, estimulam a produção de fungos e outros microrganismos que ampliam a absorção de água e nutrientes pelas plantas. (Espíndola; Almeida; Guerra, 2004; Embrapa, 2005, 2011; Ching, 2018; Maitra *et al.*, 2018).
- Mistura entre agricultura e pecuária - a variação da utilização do solo entre estas duas práticas aumenta a produção de biomassa e a reciclagem de nutrientes, além de mitigar a erosão, a perda de carbono e a acidificação do solo aumentando sua

drenagem. Esta combinação que já é utilizada em países tão diferentes como Austrália, Brasil, China e Estados Unidos, tem o potencial de aumentar a produção sem a necessidade do aumento de insumos externos e não naturais como agrotóxicos. (Sulc; Tracy, 2007; Hou *et al.*, 2008; Hacker *et al.*, 2009; Bell; Moore; Kirkegaard, 2014; Moraes *et al.*, 2014; Ching, 2018).

Além das transformações técnicas, outras mudanças de cunho social e interdisciplinar serão necessárias para alcançarmos o objetivo de uma agricultura verde, limpa, sustentável e com o potencial de extinguir o problema da fome e da pobreza no planeta (ONU, 2013; Ching, 2018; FAO, 2019). A ruptura de paradigma não depende apenas do produtor. Gliessman (2016) oferece uma lista de seis passos, iniciando pelos produtores e incluindo mudanças que todos na sociedade brasileira e mundial podem fazer para contribuir para esta revolução.

Figura 11 – Transformando os sistemas alimentares através da Agroecologia



Fonte: Adaptado de (Gliessman, 2016).

No Brasil contemporâneo, a agricultura está marcada por uma batalha desigual entre o agronegócio que busca a produtividade e o lucro e a agricultura familiar com seus métodos agroecológicos tradicionais de subsistência (Wanderley, 2009; Brito; Maciel, 2016). A transformação gerada pela Agroecologia é uma bandeira que todos

podemos e devemos levantar, pois os danos trazidos pela cultura do agronegócio, em especial via agrotóxicos, não passaram e não passam despercebidos pela comunidade científica brasileira (Serra *et al.*, 2016). Entre os trabalhos pioneiros da crítica ao agronegócio no Brasil podemos citar: o Fim do Futuro? de 1976, escrito por José Lutzenberger (Lutzenberger, 1976; Pereira, 2012; Costa *et al.*, 2017), o Manifesto ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais de 1979, escrito por Ana Maria Primavesi (Primavesi, 2002; Costa *et al.*, 2017), a Questão Agrária e Ecologia de 1982, escrito por Francisco Graziano Neto (1985; Costa *et al.*, 2017), mais recentemente a Dialética da Agroecologia de 2014, escrito por Luiz Carlos Pinheiro Machado e Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho aponta para a sociedade o perigo que está ao nosso redor (Machado; Machado Filho, 2014). Atualmente, a sociedade mundial e governos de todo o mundo estão preocupados com o futuro das próximas gerações propondo, por exemplo, as 17 Metas do Desenvolvimento Sustentável a serem cumpridas até 2030 (United Nations, 2015a), já no Brasil a Agenda 2030 proposta pelo Governo Federal (Governo Federal, 2016) aponta para um modelo econômico mais sustentável e que tenha maior respeito pelo meio ambiente, os outros seres vivos e a nós mesmos. A economia é de extrema importância para o desenvolvimento da humanidade, no entanto, esta deve estar voltada para o bem estar da população em geral e não o contrário (United Nations, 2015a; Governo Federal, 2016). Com o pensamento em um futuro onde o desenvolvimento é sustentável, o próximo subcapítulo dedica-se a problemas contemporâneos: doenças relacionadas com o uso de agrotóxicos.

3.3 PERIGO! RELAÇÃO ENTRE AGROTÓXICOS, AMBIENTE E SAÚDE

Nas primeiras frases do documentário “Nuvens de Veneno” o professor Wanderlei Pignati da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) declara:

São 141 municípios no estado do Mato Grosso, em todos eles você tem um prédio, vários veículos, vários engenheiros agrônomos, vários veterinários, vários técnicos agrícolas e muitos veículos para fazer a vigilância da saúde desse boi, a vigilância da saúde da soja, da saúde do algodão. Enquanto que para cuidar da vigilância da saúde do trabalhador e da saúde do ambiente você tem uma estrutura mínima, ínfima... e na maioria dos municípios tem apenas 6 que implantaram o que a gente chama de o Programa de Saúde do Trabalhador (Nuvens de Veneno, 2013).

Esta é uma triste realidade de muitas cidades brasileiras, especialmente onde existem lavouras ativas como no estado do Mato Grosso onde o documentário foi filmado. A Figura 10, também adaptada deste documentário, mostra um pouco mais da situação atual vivenciada nas lavouras do Centro-Oeste brasileiro.

Figura 12 – Pouco cuidado no uso dos agrotóxicos em Mato Grosso



(a) Trabalhador preparando a "calda" de endossulfan, agrotóxico proibido em diversos países do mundo, com poucos equipamentos de proteção individual (EPI). (b) A água utilizada para a lavagem do avião que pulveriza a lavoura segue sem tratamento para o lençol freático. (c) Maquinas despejam milhões de litros de agrotóxicos por ano nas lavouras de Mato Grosso. (d) Incontáveis frascos de agrotóxicos são descartados após o uso

Fonte: Adaptado de (Nuvens de Veneno, 2013).

Como mencionamos anteriormente, o Brasil foi durante um período, o maior consumidor de agrotóxicos do mundo (Guazzelli, 2009; Carneiro, 2015; Nasralla Neto; Lacaz; Pignati, 2014; Serra *et al.*, 2016; Carvalho; Nodari; Nodari, 2017; Amazonas *et al.*, 2018). Como se não fosse o bastante, nosso país utiliza em suas monoculturas centenas de ingredientes ativos que não possuem licença de uso (ou seja, são proibidos) em países como Austrália, Canadá, os da União Europeia e Estados Unidos (Amazonas *et al.*, 2018). Toda a população brasileira, e não somente aqueles que residem próximos às áreas de plantação, está sujeita a algum tipo de exposição aos agrotóxicos, seja ela aguda, subaguda ou crônica.

A exposição aguda, ou seja, de curto prazo, a estes agroquímicos (incluindo aqui os agrotóxicos e os fertilizantes químicos) está relacionada com inúmeros tipos

de enfermidades: convulsões, tonturas, vômitos, náuseas, desorientação, tremores musculares, visão turva e embaçada, colapso, coma, morte, etc. (OPAS, 1996; Amazonas *et al.*, 2018; de Lara *et al.*, 2019). Ademais, o problema do suicídio causado por intoxicações (agudas) por agrotóxicos é considerado pela OMS um problema mundial de saúde pública que atingiu mais de 100.000 pessoas (em torno de 15% do total mundial de suicídios) por ano entre os anos de 2010 e 2014 (WHO, 2014; Mew *et al.*, 2017; Jung *et al.*, 2019; Bonvoisin *et al.*, 2020). Ainda sim, as intoxicações agudas podem ser consideradas apenas como a ponta do iceberg dos prejuízos que este tipo de produto causa à saúde humana e do meio ambiente ao redor, servindo como um sinal que pode indicar locais onde intoxicações mais longas e graves estão sendo subnotificadas (Medronho *et al.*, 2009; Lara *et al.*, 2019). Deveras muitos dos agrotóxicos utilizados nas lavouras para erradicação de “pragas” são desperdiçados no processo, estima-se que apenas um terço chega até as plantas que deveriam “proteger”, o restante segue para contaminar o solo, as águas, o ar, a fauna, a flora e os seres humanos tanto da zona rural quanto da zona urbana (Chaim, 2004; Pignati; Maciel; Rigotto, 2013; Pignati; Oliveira; Silva, 2014; Pignati *et al.*, 2017).

Paralelamente, as exposições subaguda e crônica (consideradas de médio e longo prazo) também estão relacionadas a uma grande quantidade de malefícios para os seres humanos: diversos tipos de cânceres, tumores cerebrais, malformações fetais, lesões renais e hepáticas, distúrbios neurológicos, endócrinos, mentais e cognitivos (Belpomme *et al.*, 2007; Pignati; Maciel; Rigotto, 2013; Pignati; Oliveira; Silva, 2014; Ueker *et al.*, 2016; Vazquez *et al.*, 2017; Lara *et al.*, 2019).

Os dois agrotóxicos mais vendidos do país em 2014: o glifosato e o 2,4-D, são classificados pela IARC da OMS como: provavelmente cancerígeno para os seres humanos (Grupo 2A) e possivelmente cancerígeno para os seres humanos (Grupo 2B) respectivamente. Estar no Grupo 2A significa que existe limitada evidência cancerígena em humanos, mas suficiente evidência cancerígena em experimentos com animais, já o Grupo 2B significa que existe evidência cancerígena em animais de laboratório, no entanto, pequena ou nenhuma informação cancerígena em humanos. Outros herbicidas como o malathion e o diazinon que também são comercializados no Brasil, também estão no Grupo 2A (CCI/ENSP, 2015; Fritschi *et al.*, 2015; Marques, 2017). Por que ainda utilizamos produtos com possível potencial carcinógeno? E em especial, aqueles banidos em outros países?

Vejamos por exemplo o herbicida paraquate. De acordo com a Resolução - RDC Nº 177 da ANVISA, de 21 de setembro de 2017, este produto seria banido das lavouras brasileiras três anos depois da publicação da Resolução (em 22 de setembro de 2020). Poderíamos contar como uma vitória da saúde pública e de todos que lutam contra o uso de agrotóxicos (Anvisa, 2017; MST, 2020b). Todavia, algumas das reportagens sobre o assunto colocam ênfase no prejuízo financeiro e estimam que produtores arquem com um prejuízo de R\$ 500 milhões por ano (Canal Rural, 2020b) por conta do banimento do paraquate (Canal Rural, 2020a). Vale ressaltar que a questão do paraquate que, é proibido em 50 países pelo mundo e em toda a União Europeia, está longe de ser resolvida, pois o lobby do agronegócio continua pressionando para reverter a medida ou flexibilizá-la (ENSP, 2019; Aranha; Freitas, 2020). Aqui fica claro qual é a maior preocupação do sistema atual: a economia sobre a saúde da população. Obviamente um prejuízo deste montante não é irrelevante e a crítica aqui não vai para o produtor que utiliza o agrotóxico e sim para o sistema atual que coloca o ganho financeiro acima do ganho em vidas e em saúde. Este é o choque de visões de mundo que estamos enfrentando. Todavia, fica cada vez mais evidente que mudanças políticas, sociais e econômicas são necessárias para a melhoria da qualidade de vida de milhares de pessoas que hoje sofrem com os inúmeros problemas causados pelos agrotóxicos e com toda a cadeia de produção agrícola, que aqui no Brasil é responsável por grande parte da economia (Rozenbaum; Leitão, 2006; Nasralla Neto; Lacaz; Pignati, 2014; Serra *et al.*, 2016) e por isso tem o poder de pressionar governos para alinharem as leis nacionais com seus interesses financeiros em detrimento do que é melhor para a população. Somados a isto, estão a barganha política, falta de cumprimento de leis ambientais, falta de promoção de educação ambiental, e valorização do conhecimento de que as florestas valem mais em pé do que derrubadas. A situação brasileira tem uma complexidade imensa que serve de base para estudos como este.

3.4 JUSTIFICATIVA

Diversos trabalhos apresentam os resultados da deterioração do meio ambiente como consequência da produção de commodities no Brasil.

Consequências como o desmatamento (Ribeiro; Veríssimo; Pereira, 2006; Leal; Maniesi, 2018; Duarte, Miqueias Lima *et al.*, 2020), a expansão da fronteira agrícola (Bampi *et al.*, 2017; Kastens *et al.*, 2017; Avelino, 2018; Capoane; Kuplich, 2018) estão documentadas desde a Amazônia ao norte aos Pampas ao sul, além do aumento do uso de agrotóxicos, especialmente nos maiores estados produtores (Nasralla Neto; Lacaz; Pignati, 2014; Pignati; Oliveira; Silva, 2014; Araújo; Oliveira, 2017; Carvalho; Nodari; Nodari, 2017).

Além do que, os prejuízos do uso de agrotóxicos na saúde da população já estão documentadas em diversas partes do país, em especial no estado do Mato Grosso que apresenta-se como o maior consumidor de agrotóxicos dentre todas as Unidades da Federação (UFs) (Curvo; Pignati; Pignatti, 2013; Oliveira *et al.*, 2014; Ueker *et al.*, 2016).

No caso específico das intoxicações exógenas relacionadas à exposição aos agrotóxicos, trabalhos recentes frequentemente apresentam resultados regionais (quase sempre dados de uma única cidade, microrregião ou estado) (Santos, 2022; Carvalho *et al.*, 2022; Queiroz *et al.*, 2020).

Como trabalho na área de Saúde Coletiva, nossa preocupação está voltada para como problemas ambientais podem impactar a saúde dos seres humanos. Este conhecimento pode ajudar a promover o bem-estar social e melhorar a qualidade de vida das pessoas que é um dos objetivos da nossa área de estudos.

3.5 OBJETIVO GERAL

Descrever as tendências dos indicadores de cobertura do solo no Brasil, no período de 1985 a 2019, bem como do uso de agrotóxicos entre 2009 e 2020 e suas associações com os registros de intoxicações exógenas entre 2009 e 2018, considerando as diferenças entre regiões e unidades federativas.

3.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever a tendência de modificação na cobertura do solo, avaliando a substituição da cobertura vegetal natural por área destinada à agropecuária no Brasil no período 1985-2019;

- Descrever a tendência e o perfil do consumo de agrotóxicos, enfatizando suas classes toxicológicas, na produção agropecuária brasileira no período 2009-2020;
- Avaliar a associação entre o uso de agrotóxicos (tanto o consumo absoluto, quanto a taxa de consumo por área destinada à agropecuária) e incidência de intoxicações exógenas no período 2009-2018.
- Apresentar e discutir a cadeia de eventos que se inicia com o desmatamento, passa pela pecuária e agricultura com consumo de agrotóxicos e tem como desfecho as intoxicações exógenas;

4 METODOLOGIA

4.1 DESENHO DE ESTUDO

Estudo observacional¹⁰, com desenho ecológico¹¹ a partir de dados secundários¹², abordagem descritiva e avaliativa da tendência temporal de cobertura de solo, uso de agrotóxicos e ocorrência de intoxicações exógenas (IEXO), considerando como locais de estudo: o Brasil, as regiões e as 27 Unidades da Federação (UFs). Conforme detalhado na tabela a seguir.

4.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS

A tabela 2 apresenta um resumo do conjunto dos dados utilizados.

Tabela 2 – Resumo do conjunto de dados

Dados	Descrição			
	Características	Período	Fonte	Link
Cobertura do solo	Série histórica de mapas anuais de cobertura e uso do solo brasileiro utilizando sensoriamento remoto.	1985-2019	MapBiomas - Observatório do Clima - Dados de Cobertura de solo Coleção 5.0	https://mapbiomas.org/estatisticas
Uso de agrotóxicos	Relatório anual de comercialização de agrotóxicos.	2009-2018	IBAMA	https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos

¹⁰ Em um estudo observacional, o pesquisador não tem controle sobre os fatores de exposição. Além disso, não há randomização, isto é, alocação aleatória entre expostos e não expostos. (Kleinbaum; Sullivan; Barker, 2007; Malta *et al.*, 2010; Keyes; Galea, 2014).

¹¹ Estudos ecológicos são aqueles que possuem como unidade de base uma população ou um conjunto de pessoas e não o indivíduo. Geralmente estes dados estão atrelados a algum nível geográfico como uma região, cidade, estado ou país. Exemplo: estudo de prevalência de Covid-19 no estado do Rio de Janeiro (Susser, 1994; Morgenstern, 1995; Borja-Aburto, 2000; Keyes; Galea, 2014; Rousson; Rosselet; Paccaud, 2017).

¹² Dados secundários são dados que não foram coletados pelo autor e sim por terceiros, para outros objetivos primários. Em geral, estes dados estão disponíveis em plataformas públicas governamentais ou não, para acesso. Exemplo: dados do censo demográfico brasileiro (Rocha, Felipe; Mello; Jacks, 2013; Johnston, 2014; Ellram; Tate, 2016).

Intoxicações Exógenas (IEXO)	Dados de intoxicações exógenas, banco de dados do Sistema Nacional de Agravos de Notificação (SINAN)	2007-2022	Banco de dados do Sistema Único de Saúde (DATASUS)	https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/
-------------------------------------	--	-----------	--	---

Fonte: Elaboração própria.

Vamos aprofundar nosso conhecimento sobre as fontes dos dados:

4.2.1 MapBiomass

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso de Solo no Brasil (MapBiomass) é uma iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima). Produzido por uma rede de colaboradores que incluem ONGs, universidades e empresas de tecnologia que se uniram para ajudar na compreensão das mudanças do território brasileiro a partir do mapeamento anual da cobertura e uso do solo (Mapbiomas, 2021). O projeto surgiu em São Paulo em 2015 quando uma equipe de especialistas em sensoriamento remoto¹³ (SER) e mapeamento de vegetação se reuniram a pedido do SEEG/OC (Mapbiomas, 2021). O processo de mapeamento por sensoriamento remoto do MapBiomass é baseado nas imagens da série de satélites americanos Landsat¹⁴ com resolução de 30 metros (Maurano; Escada, 2019; USGS, 2018; INPE, 2021; Mapbiomas, 2021).

¹³ Sensoriamento Remoto é a tecnologia que nos possibilita obter dados da superfície terrestre através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões e aeronaves) ou orbitais (satélites artificiais). O termo *remoto* indica que a coleta dos dados é feita à distância, isto é, sem nenhum contato físico entre os objetos observados e os sensores (Florenzano, 2007; Campbell, James B.; Wynne, 2011).

¹⁴ Série de satélites lançada pela primeira vez na década de 1960 pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) dedicada à observação dos recursos naturais da Terra. Até hoje foram lançados oito satélites, com o Landsat 8 lançado em 2013 e o Landsat 9 com lançamento previsto para 2021. Esta coleção possui uma série ininterrupta de imagens terrestres desde 1972 até os dias atuais proporcionando uma excelente fonte de dados para a observação das mudanças da cobertura do solo em todo o planeta (Maurano; Escada, 2019; USGS, 2018; INPE, 2021; Mapbiomas, 2021).

O processo de classificação das imagens é totalmente automatizado, obtido a partir de computação em nuvem¹⁵ (Ruschel; Zanotto; Mota, 2010; Subramanian; Jeyaraj, 2018) na plataforma Google Earth Engine (Moore; Hansen, 2011; Google Earth Engine, 2021; Gorelick *et al.*, 2017; Maurano; Escada, 2019) através de algoritmos de aprendizado de máquina, do termo em inglês machine learning¹⁶ (Maurano; Escada, 2019; Molnar, 2020; Mapbiomas, 2021). A partir daí, os dados passam por um processo de seis etapas: geração do mosaico de imagens para um ano, geração do mosaico de imagens para os 34 anos disponíveis, classificação das imagens para cada bioma brasileiro, aplicação de filtros, integração dos dados, e por fim a geração de mapas de transição (Mapbiomas, 2021).

Por fim, os resultados para a cobertura do solo estão disponibilizados em séries temporais estaduais e municipais no período entre 1985 e 2019. Estes dados da versão 5.0 estão subdivididos em níveis como mostra a Tabela 3 (Mapbiomas, 2021).

Tabela 3 – Subdivisão dos resultados do MapBiomas para a cobertura do solo

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Floresta	Floresta Natural	Formação Florestal	
		Formação Savânica	
		Mangue	
Formação Natural	Floresta Plantada		
	Afloramento rochoso		
	Apicum		
	Formação Campestre		
	Outra formação		
Não Florestal	Não Florestal		
Agropecuária	Agricultura	Lavoura temporária	Soja
			Cana
		Lavoura perene	Outras lavouras temporárias

¹⁵ Computação em nuvem é um conceito em que utilizamos as diversas aplicações da internet de qualquer lugar e independente da plataforma, com a mesma facilidade e simplicidade de quando estamos utilizando os recursos instalados e salvos em nosso computador pessoal (Ruschel; Zanotto; Mota, 2010; Subramanian; Jeyaraj, 2018).

¹⁶ Machine learning pode ser entendido como um conjunto de métodos utilizados por computadores para criar e/ou melhorar previsões e comportamentos através de banco de dados (Molnar, 2020).

	Pastagem
	Mosaico Agricultura e Pastagem
Área não Vegetada	Infraestrutura urbana Mineração Outras áreas não vegetadas Praias e Dunas
Corpos de água	Aquicultura Rio, lago e oceano
Não Observados	

Fonte: Adaptado de (Mapbiomas, 2021).

4.2.2 IBAMA

Os relatórios de comercialização de agrotóxicos são de responsabilidade do IBAMA, órgão ligado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA). Empresas que utilizam produtos agrotóxicos, ingredientes ativos e afins no território nacional devem apresentar semestralmente aos órgãos federais e estaduais de fiscalização relatórios sobre os tipos e as quantidades produzidas, importadas, exportadas e comercializadas. Esta política foi regulamentada pelo Decreto 4074 de 4 de janeiro de 2002 (Brasil, 2001; IBAMA, 2016).

A divulgação das informações consolidadas, a partir dos relatórios anuais, tem por objetivo melhorar o entendimento desta “tecnologia” no setor agrícola, além de embasamento para realização de estudos, auxílio na tomada de decisões regulatórias, direcionamento de investimentos e pesquisas sobre registro de alternativas menos nocivas para o ambiente e para os seres vivos (IBAMA, 2016).

Os boletins anuais são divididos por UFs e estão disponíveis no período entre 2009 e 2018, constando nos dados apenas ingredientes ativos que possuam no mínimo três empresas detentoras do registro. São apresentadas variáveis como: vendas por classes de periculosidade ambiental, vendas por classe de uso (herbicidas, fungicidas, etc.), vendas por ingrediente ativo por UF, dentre outros. Tais

relatórios podem sofrer retificações conforme os dados enviados pelas empresas são reavaliados (IBAMA, 2016).

4.2.3 DATASUS

De responsabilidade do Ministério da Saúde, o DATASUS através do seu banco de dados de Informações de Saúde (TABNET) compila dados de diversos sistemas de informação do Sistema Único de Saúde do Brasil como o Sistema de Informações Hospitalares (SIHSUS), o Sistema de Informação de Mortalidade (SIM), o Sistema de Informação de Nascidos Vivos (SINASC), Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), entre outros. Estes dados são disponibilizados e geram informações que podem subsidiar análises objetivas da atual situação sanitária, auxiliar na tomada de decisão baseada em evidências e no desenvolvimento de programas de ações de saúde no território nacional (DATASUS, 2008). Em saúde pública, é tradição mensurarmos o estado de saúde de uma população. Estes registros iniciaram-se com os dados de mortalidade e atualmente, dados de mortalidade, incapacidade, acesso a serviços, qualidade da atenção, qualidade de vida, fatores ambientais passaram a servir como base para a construção de indicadores de saúde¹⁷ (de Soárez; Padovan; Ciconelli, 2005; OPAS, 2008) que se traduzem em informações relevantes para a quantificação e avaliação da condição de bem estar de toda a população brasileira (DATASUS, 2008). Os dados secundários de IEXOs foram retirados do SINAN no período entre 2007 e 2022 para a construção do indicador da taxa de intoxicação exógena (T 65.9 na CID-10) no qual o agente tóxico causador foi o agrotóxico agrícola (Brasil, 2005; Ministério da Saúde, 2018)

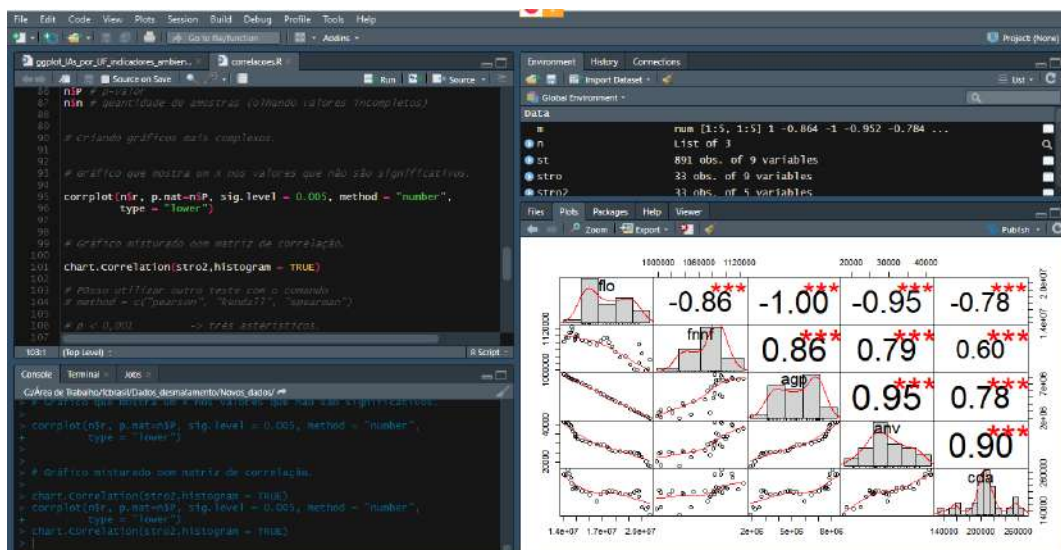
¹⁷ Um indicador de saúde, de acordo com a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS), pode ser entendido como uma medida sintetizada, que contém informação sobre determinado atributo e/ou dimensão do estado de saúde, bem como do sistema de saúde como um todo. Quando analisados em conjunto podem refletir a situação sanitária de uma população e servir para a vigilância de suas condições de saúde. Exemplos: taxa de mortalidade infantil, índice de envelhecimento, taxa de crescimento populacional, incidência de sarampo, etc. (de Soárez; Padovan; Ciconelli, 2005; OPAS, 2008).

4.3 ANÁLISE DOS DADOS

Após os downloads das fontes citadas nos subcapítulos anteriores, os resultados foram tabulados no Microsoft Office, utilizando o programa Excel 2010, gerando assim, a compilação de dados necessária para a análise dos resultados.

A análise estatística, os gráficos e as tabelas foram desenvolvidos no programa R versão 3.6.1 para Windows. O R é um “free software”, ou seja, um programa livre de computação estatística e gráfica (Ripley, 2001; Venables; Smith, 2003; R Project, 2021). Um exemplo de sua interface é apresentado na Figura 11.

Figura 13 – A interface do R combina linguagem de programação, tabelas e gráficos em um software livre e gratuito

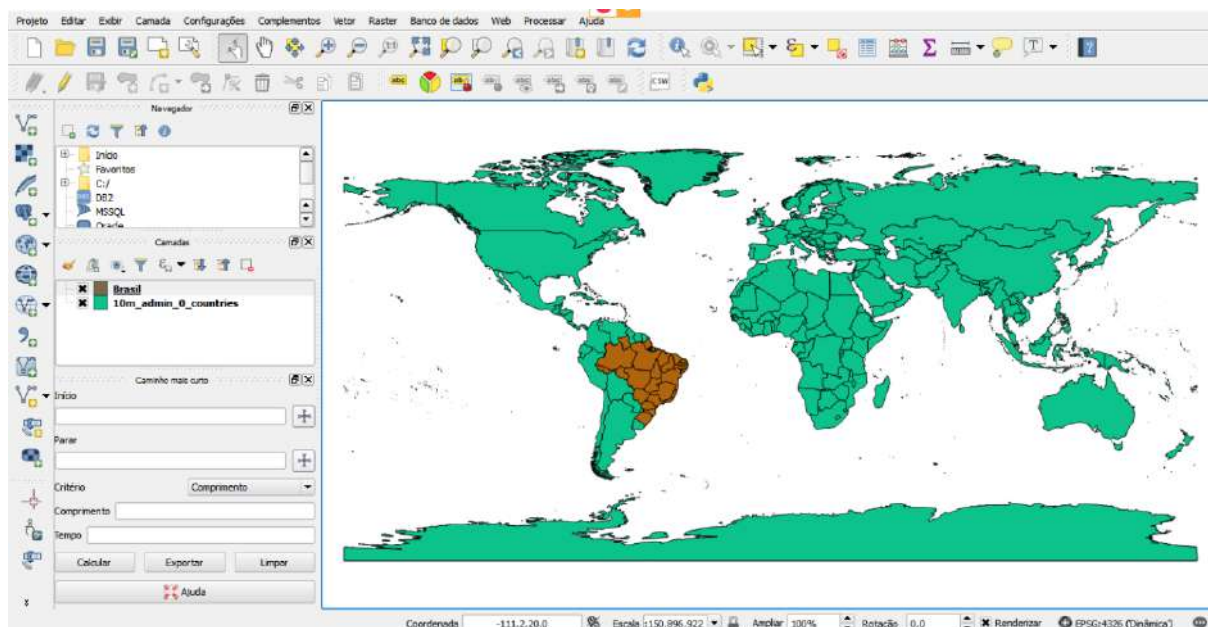


Os mapas foram gerados no programa Quantum Gis (QGIS) versão 2.18 (Las Palmas). O QGIS é considerado um sistema de informação geográfica livre e aberto que permite a visualização, edição e análise de dados que podem estar georreferenciados¹⁸ ou não (Menzori, 2017; USGS, 2017; INPE, 2021). A partir destes dados é possível a construção e interpretação de gráficos e mapas de

¹⁸ Georreferenciamento de dados, do inglês georeferencing, é uma metodologia que relaciona a coordenada interna de um mapa digital (ou imagem aérea) com um sistema terrestre de coordenadas geográficas, conhecido como Sistema de Informação Geográfica (SIG). Através desta metodologia, podemos estimar a localização na superfície da Terra de qualquer ponto no mapa digital (ou imagem aérea). A palavra Georreferenciamento é um neologismo, ou seja, é uma palavra que não existia na língua portuguesa e foi criada para se adaptar a sua correspondente no idioma inglês. Um exemplo de SIG é o Sistema de Posicionamento Global, também do inglês, Global Positioning System (GPS) (Menzori, 2017; USGS, 2017; INPE, 2021).

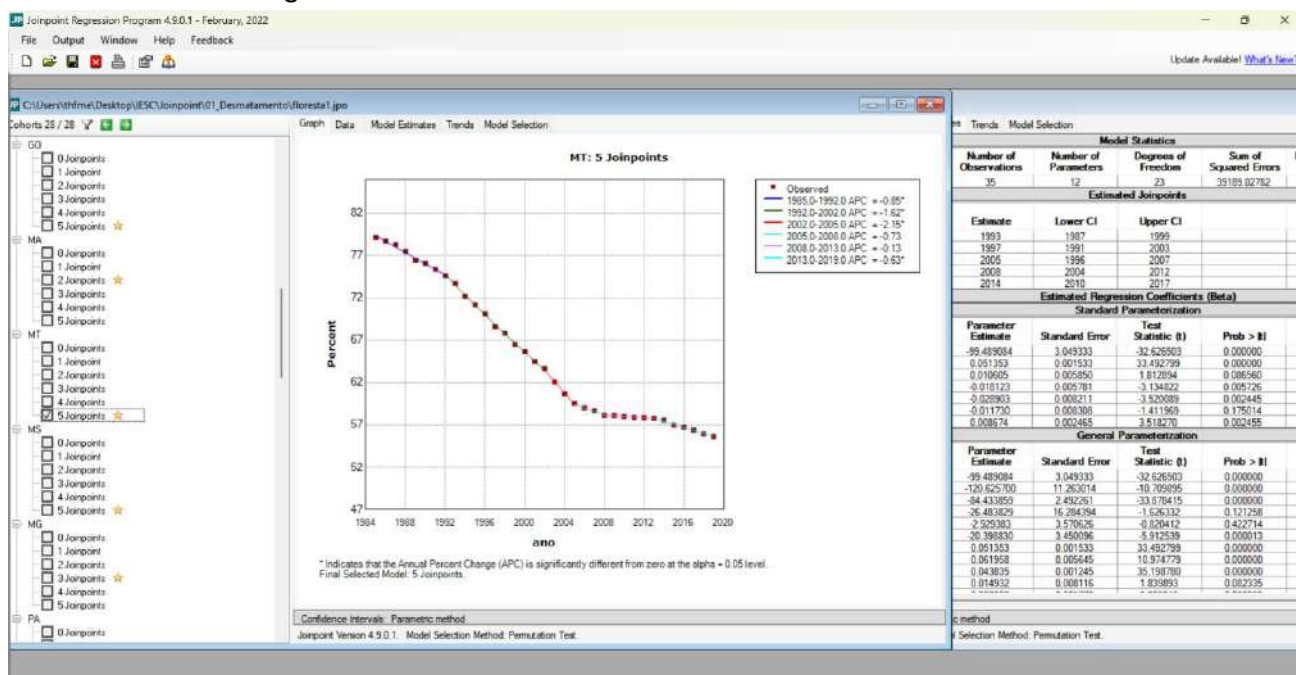
diferentes formatos e para diferentes usos (Graser, 2016; Qgis, 2021). Um exemplo de sua interface é mostrado na Figura 12.

Figura 14 – QGIS é considerado um Sistema de Informação Geográfica livre e aberto



Em determinado momento foi utilizado o programa Joinpoint (Joinpoint Trend Analysis Software) para obtermos as séries temporais particionadas. O Joinpoint é um programa aberto e uma ferramenta que indica onde estão os pontos de relevância (inflexão) dos gráficos indicando em que momento do tempo pode estar ocorrendo uma mudança no crescimento ou decrescimento dos resultados. A partir dos resultados encontrados por este programa, retornamos ao R e geramos modelos de regressão linear com as séries inteiras e particionadas (indicadas pelos anos de referência do Joinpoint) e analisamos a significância de seus coeficientes (National Cancer Institute, 2023).

Figura 15 – O Joinpoint foi utilizado para encontrar pontos de inflexão (aqueles que apresentam mudanças na tendência dos gráficos) nas séries de dados de desmatamento, agrotóxicos e IEXO



4.4 CONSTRUÇÃO DOS INDICADORES

Para os dados de cobertura de solo foi adotado um indicador que leva em consideração as seis categorias que formam o nível 1 da Tabela 3: Floresta, Formação Natural Não Florestal, Agropecuária, Área Não Vegetada, Corpo de água e Não observados. Estas seis categorias formam a totalidade dos tipos de cobertura de solo possíveis nos dados do MapBiomias. Quando somados, totalizam 100% da cobertura de solo, em hectares (ha), de uma UF (este indicador também será calculado para o território nacional e para os 50 municípios com maior valor de produção), isto é, toda a área territorial de uma UF está dividida entre estes seis valores. Foram obtidos percentuais de cobertura de solo de cada uma das seis categorias acima citadas, para todas as UFs e para todos os anos entre 1985 e 2019 conforme a Equação 1. Do mesmo modo, os resultados municipais foram obtidos por meio da Equação 1b e o resultado nacional mediante a Equação 1c.

$$\text{Percentual de cobertura} = \frac{\text{valor do nível em um ano qualquer (ha)}}{\text{área territorial da UF (ha)}} * 100 \quad (1a)$$

$$\text{Percentual de cobertura} = \frac{\text{valor do nível em um ano qualquer (ha)}}{\text{área territorial do município (ha)}} * 100 \quad (1b)$$

$$\text{Percentual de cobertura} = \frac{\text{valor do nível em um ano qualquer (ha)}}{\text{área territorial nacional (ha)}} * 100 \quad (1c)$$

Em seguida, os resultados de todos os níveis foram agrupados em um único gráfico de linhas, representando a série temporal da UF (ou município). Por fim, foi acrescentado em cada gráfico, linhas verticais (tracejadas em preto) que delimitam o período entre 2003 e 2016 período correlato a atuação do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) em conjunto com o DETER, um sistema de alerta de desmatamento e degradação florestal operado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Maia *et al.*, 2011; Mello; Artaxo, 2017; Ramos, Anderson Arruda, 2020).

Pensando na preservação do território e nas mudanças no uso do solo numa localidade qualquer, Rockström *et al.* (2009) propõem que não mais de 15% da área livre de cobertura de gelo deveria ser transformada em área agricultável (vale ressaltar que o território brasileiro não possui nenhuma área de cobertura de gelo permanente). Posteriormente, esta proposta foi atualizada por Steffen *et al.* (2015b), modificando a variável de controle (que no caso de Rockström *et al.* (2009) era a área agricultável) para, conservação de no mínimo 85% de cobertura florestal original como mínimo para considerar uma região com preservada. Com base nestes trabalhos, propõe-se, na Tabela 6, a seguinte classificação para os resultados de cobertura de solo (Rockström *et al.*, 2009; Artaxo, 2014; Steffen *et al.*, 2015b; Campbell, Bruce M. *et al.*, 2017; Nash *et al.*, 2017):

Tabela 4 – Classificação regional proposta para a cobertura de solo com base nos 6 níveis da Tabela 3 tomando a agropecuária como nível de referência

(%) de agropecuária	Descrição	Classificação
< 15%	UF ou município onde a atividade agropecuária representa menos de 15% da cobertura total do solo	preservado
Entre 15% e tornar-se cobertura dominante	UF ou município onde a agropecuária está acima de 15% de cobertura de solo, entretanto ainda não tornou-se a cobertura de maior percentual entre os 6 níveis.	pré-transição
Após tornar-se dominante, mas sem estabilidade	UF ou município onde a agropecuária já transformou-se na cobertura dominante, ou seja, já possui o maior valor percentual entre os 6 níveis. Além disso, é perceptível a expansão deste percentual.	pós-transição
Agropecuária dominante e estável	UF ou município onde a agropecuária é a cobertura dominante e mantém relativa estabilidade de seu percentual (ou mesmo uma ligeira redução) durante o período de estudo.	antropogênico

Em algumas regiões, de modo geral, a formação natural que predominou durante toda a história do lugar e que figura como cobertura dominante, a partir de um certo período no tempo, começa a diminuir de maneira quase que inversamente proporcional ao território destinado a agropecuária, diminuindo de maneira considerável a distância entre as duas curvas (ambas as curvas formam um desenho muito parecido com um “X”). Em alguns casos, o percentual do território destinado à agropecuária se aproxima e se iguala ao percentual do território natural (dominante geralmente a floresta), neste momento ambas as curvas estão muito próximas (ou se encontram). Considerando que a agricultura e a pecuária não são “naturais”, no sentido de que são desenvolvidas e realizadas pelos seres humanos, este é o instante em que de certa forma a ação antropogênica passa a ter um percentual do território maior do que a da cobertura natural dominante. A partir daí, o percentual da agropecuária tende a crescer por um certo período de tempo até encontrar um ponto de estabilidade (mas já como cobertura dominante). Estabilidade esta que em alguns casos só é alcançada quando valores próximos de 100% do território regional são transformados em agropecuária.

Entendendo que represas, cidades e florestas replantadas também possam ser classificadas como atividades humanas, consideraremos neste trabalho apenas a degradação gerada pela atividade agropecuária como característica

antropogênica. Por fim, tendências de modificação na cobertura do solo serão abordadas pelo cálculo dos percentuais anuais de mudança (ACP) obtidos por meio de modelos de regressão Joinpoint.

Para os dados de agrotóxicos do IBAMA, o principal indicador será o valor absoluto das vendas por tonelada de ingrediente ativo (IA) para cada UF no período entre 2009 e 2018 (não considerando os agrotóxicos que aparecem como “sem definição”). A partir do valor absoluto, foram gerados dois indicadores de consumo de agrotóxicos relacionados com: a quantidade total de habitantes da UF, a área total da UF destinada à agropecuária convertidos de toneladas para quilogramas (kg) como mostram as Equações 2 e 3. Estas taxas foram utilizadas em trabalhos anteriores para estimar o uso de agrotóxicos (Pignati; Oliveira; Silva, 2014; Pignati *et al.*, 2017).

Taxa de agrotóxicos por habitante da UF

$$= \frac{\text{total de agrotóxicos na UF no ano em questão (kg)}}{\text{total de habitantes na UF no ano em questão}} \quad (2)$$

Taxa de agrotóxicos por área destinada a agropecuária da UF

$$= \frac{\text{total de agrotóxicos na UF no ano em questão (kg)}}{\text{área destinada a agropecuária da UF (ha) no ano em questão}} \quad (3)$$

Além disso, também foi calculado o valor absoluto das vendas de agrotóxicos de acordo com as classes toxicológicas descritas pela OMS, que foram revisadas pela ANVISA em 2019, a saber: extremamente tóxico, altamente tóxico, moderadamente tóxico, pouco tóxico, improvável de causar dano agudo e fumigante ou não classificado (foi acrescentada como classe, os agrotóxicos que não foram encontrados na lista da OMS, representada pela sigla NE, ver Tabela 1) (WHO, 2019; ANVISA, 2019).

Para os dados de intoxicações exógenas (referente à classe de intoxicações cujas causas são os agrotóxicos agrícolas) foram calculados além do valor absoluto, uma taxa de intoxicações exógenas por cem mil habitantes com mostra a Equação (4). Além do valor total, esta taxa também foi calculada de acordo com o sexo, raça/cor e exposição ao trabalho.

Taxa intoxicações exógenas (IEXO)

$$= \frac{\text{total de intoxicações exógenas relacionadas a agrotóxicos agrícolas}}{\text{total de habitantes}} * 100.000 \quad (4)$$

Por fim, para cada UF entre 2008 e 2019, foram gerados e comparados tanto no Joinpoint quanto no R/Rstudio modelos de regressão linear onde as variáveis independentes eram o ano e a o valor absoluto do consumo de agrotóxicos e a variável dependente (desfecho) era a logaritmo da taxa por milhão das intoxicações exógenas. Este processo gerou coeficientes, com intervalos de 95% de confiança, que eram analisados de acordo com suas significâncias estatísticas, ou seja, utilizando o nível de significância de 5%. Em alguns casos onde o resultado do Joinpoint indicava um ponto de interesse em algum ano e um particionamento do período em dois, nestes casos, os coeficientes foram calculados nas duas partes distintas do modelo.

4.5 QUALIDADE, PONDERAÇÕES E LIMITAÇÕES DOS DADOS EM SAÚDE PÚBLICA

O Sistema Único de Saúde (SUS), regulamentado pela Lei Nº 8080 de 19 de setembro de 1990, é um dos maiores sistemas públicos de saúde do mundo (Brasil, 1990; Duarte, Elisete; Eble; Garcia, 2018; Cobaito; Cobaito, 2020). Em 2013, A Pesquisa Nacional de Saúde (PNAD) estimou que 80% da população brasileira (cerca de 160.000.000 de pessoas) era considerada SUS-dependente, ou seja, dependia estritamente do Sistema Único para qualquer ação relacionada à assistência em saúde (IBGE, 2013; Macinko; Harris, 2015; Stopa *et al.*, 2017; Duarte, Elisete; Eble; Garcia, 2018). A captação, organização e divulgação de imensa quantidade de dados oriunda de diversas partes do país apresentam-se como grandes desafios para o SUS. De fato, não existe um único Sistema de Informação em Saúde (SIS) que realize esta tarefa, o Brasil possui diferentes sistemas descentralizados que processam todos os tipos de dados relativos à assistência em saúde. Podemos citar o SINAN como exemplo. A introdução destes sistemas facilitou a disponibilização e o acesso a dados importantes para análise, avaliação e geração de políticas públicas em saúde (Piccolo, 2018). Contudo, tais

sistemas são descentralizados e foram implantados de maneira heterogênea no território nacional (Pedraza, 2012; Vasconcelos, 1998).

Pesquisas revelam discrepâncias fundamentais na qualidade nos dados captados em cada UF. Algumas UFs apresentam dados de boa qualidade, enquanto outras possuem dados de qualidade muito deficiente (Vasconcelos, 1998). Qualidade dos dados é aqui entendida como dados que são “aptos para uso”, dados que o usuário tenha capacidade de interpretar, que sejam acessíveis, relevantes, precisos e procederem de fontes confiáveis (Wang; Strong, 1996; Piccolo, 2018). Do ponto de vista quantitativo, a qualidade dos dados de um sistema está relacionada com a cobertura do sistema e a completude do preenchimento dos documentos, já do ponto de vista qualitativo, a qualidade está relacionada com a confiabilidade/fidedignidade de suas informações (Pedraza, 2012).

A cobertura de um conjunto de dados, relativos a uma variável qualquer e dentro de uma região e espaço de tempo está relacionada com a capacidade de obtenção da totalidade dos eventos ocorridos para esta variável. Em geral, o grau de cobertura de uma base de dados pode ser avaliado comparando os resultados desta base com outra que seja considerada padrão (Souza, 2004; Jorge; Laurenti; Gotlieb, 2007; Pedraza, 2012). O Ministério da Saúde recomenda uma cobertura de 90% para que os dados possam ser utilizados de forma segura no cálculo direto de indicadores (Frias *et al.*, 2007; Pedraza, 2012).

Já a completude de um conjunto de dados diz respeito ao completo preenchimento do documento necessário para a oficialização do evento ocorrido. Como exemplos, podemos citar: a Ficha de Investigação de Intoxicações Exógenas (República Federativa do Brasil, 2005; Ministério da Saúde, 2018). A avaliação da completude destes documentos pode ser analisada pela frequência em que ocorre, em qualquer variável do mesmo, os termos “ignorado” e/ou “em branco” (Pedraza, 2012). Variáveis onde não conhecemos a informação (“ignorado”) são produtos de uma série de imperfeições como a falta de informação em prontuários, desconhecimento de certas informações pelo paciente ou por seus acompanhantes. Por outro lado, variáveis não preenchidas (“em branco”) constataam uma falta de cuidados e de importância dada a estes tipos de documentos pelo profissional responsável por seu preenchimento (Costa; Frias, 2009; Pedraza, 2012). No apêndice (do Artigo 3) estão os resultados sobre o percentual de dados de IEXO de cada UF e nacional no período entre 2007 e 2022 que apresentaram como resposta

ignorados ou brancos e outros (além do resultado combinado entre estas duas respostas), além do percentual do total de IEXO que foram declarados como intoxicações por agrotóxicos agrícolas.

Finalmente, a confiabilidade de um conjunto de dados relaciona-se com a consistência, a concordância e a legitimidade de seus resultados quando comparados com outros sistemas de informação (Silva, Antônio Augusto Moura da *et al.*, 2001; Romero; Cunha, 2007; Pedraza, 2012). Assim como a cobertura, a confiabilidade (ou concordância) de um banco de dados pode ser mensurada quando comparamos os resultados deste banco com resultados de outros bancos. Não foi intuito deste trabalho realizar comparações entre sistemas diferentes, nosso resultados são exclusivamente calculados com base nos resultados de IEXO do SINAN, entendemos esta coleta e análise dos dados como uma limitação do nosso estudo.

O desfecho escolhido para a tese após a qualificação foram as intoxicações exógenas (IEXO). A taxa por cem mil foi calculada baseando-se nos dados de IEXO de agrotóxicos agrícolas do SINAN. Apesar de diversificação e descentralização do sistema, diversos estudos apontam elevada subnotificação no registro das intoxicações por agrotóxicos. Alguns estudos sugerem que apenas 2% dos eventos chegam a ser notificados (Bochner, 2006; Faria; Fassa; Facchini, 2007; Mello Jorge; Laurenti; Gotlieb, 2010; Malaspina; ZiniLise; Bueno, 2011; Scardoelli *et al.*, 2011; Albuquerque *et al.*, 2015; Queiroz, Paulo Roberto *et al.*, 2019).

Desde 2007, a notificação no SINAN das intoxicações por agrotóxicos é realizada pela ficha de intoxicação exógena (Albuquerque *et al.*, 2015). Todavia, estudos recentes apresentam a subnotificação dos registros como uma vulnerabilidade (Queiroz, Paulo Roberto *et al.*, 2019). Em especial, os registros de intoxicações por agrotóxicos no SINAN apresentam-se insuficientes em todo o território nacional, embora existam diferenças regionais na qualidade dos dados. É possível observar que apesar das variadas bases de dados para as intoxicações por agrotóxicos, nenhuma delas corresponde de forma adequada a realidade, ou seja, servir como instrumento de vigilância deste tipo de agravo (Faria; Fassa; Facchini, 2007). Um problema grave seria o fato de se registrarem apenas os casos agudos, os mais graves e os óbitos, não identificando assim os casos crônicos (Faria; Fassa; Facchini, 2007; Albuquerque *et al.*, 2015). Ademais ainda existem outros tipos de carências como: cobertura insuficiente em algumas regiões dados incompletos e

inadequados (baixa completude) e informações que não possuem valor no subsídio de ações e políticas públicas relacionadas as intoxicações por agrotóxicos (Branco, 1996; Moraes; Santos, 2001; Oliveira *et al.*, 2003; Oliveira-Silva; Meyer, 2003; Faria; Fassa; Facchini, 2007; Mello Jorge; Laurenti; Gotlieb, 2010; Albuquerque *et al.*, 2015).

Embasar ações de vigilância em dados oriundos de sistemas que em geral captam apenas os casos agudos, como o SINAN, pode subestimar os casos crônicos e ocupacionais e superestimar as tentativas de suicídio por meios de intoxicações por agrotóxicos (Koh; Jeyaratnam, 1996; London; Bailie, 2001; Albuquerque *et al.*, 2015). Fatores que podem influenciar a subnotificação dos casos crônicos são: ausência de registros, dificuldade pelo profissional de saúde de identificação dos casos, carência no treinamento da notificação, pequena ou nenhuma capacidade laboratorial e nos meios rurais a distância até os serviços de saúde (Oliveira-Silva; Meyer, 2003; Oliveira *et al.*, 2003; Faria; Fassa; Facchini, 2007; Albuquerque *et al.*, 2015).

De fato, muitas ações ainda são necessárias para aumentar a qualidade dos dados sobre intoxicações por agrotóxicos do SINAN. O aumento da cobertura nas regiões mais remotas do país e fortalecimento do preenchimento das fichas de notificação são exemplos de atitudes necessárias para a melhoria deste conjunto de informações, que embora venha melhorando ao longo dos anos, aparenta ainda estar distante da realidade quando pensamos nas intoxicações por agrotóxicos (Faria; Fassa; Facchini, 2007; Albuquerque *et al.*, 2015). Isto posto, a estrutura de dados do SINAN, na falta de dados mais completos, é utilizada pelo Ministério da Saúde para orientar, programar e consolidar ações em saúde em populações expostas a agrotóxicos. Seus dados são utilizados para a criação de indicadores que facilitam o aporte de recursos, capacitação profissional das vigilâncias, análise de resíduos na água, criação de protocolos, dentre outros (Brasil, 2017b, 2022).

5 RESULTADOS

5.1 ARTIGO 1

Antropoceno brasileiro: quatro décadas substituindo florestas por lavouras e pastagens

Thiago Felipe Melo de Lima¹

Armando Meyer¹

Alexandre dos Santos Brito¹

Instituto de Estudos em Saúde Coletiva, Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Institute for Studies in Public Health, Health Sciences Center, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

Resumo

O desmatamento, especialmente quando ligado à expansão da fronteira agrícola, é um problema perceptível em quase todas as regiões do globo, além de uma das expressões mais claras do Antropoceno. Entretanto, até onde temos destruído nossos biomas? Por quais transições estamos passando e qual o retrato atual de nosso território? Onde a devastação é mais intensa e quais os fatores associados? Este trabalho pretende apresentar um panorama geral sobre a mudança na cobertura do solo brasileira durante o período entre 1985 e 2019, classificando cada região selecionada de acordo com o tipo de cobertura de solo dominante. Estudo ecológico de séries temporais utilizando dados de sensoriamento remoto da base do MapBiomas em nível nacional, estadual e municipal. Em quase 40 anos, a área destinada à agropecuária no Brasil cresceu mais de 700.000 km², território equivalente ao Chile, perdendo no mesmo período uma área equivalente de floresta, com o Mato Grosso como líder em valores absolutos. Em nenhum momento o desflorestamento foi interrompido, ocorreram períodos, particularmente entre 2003 e 2016, de redução expressiva na Amazônia e ao mesmo tempo, migração da fronteira agrícola para o Cerrado e para os Pampas. Os resultados apresentam um país em transição e um aumento significativo na área destinada à agropecuária em grande parte do território nacional.

Palavras-chave: Antropoceno, desmatamento, cobertura florestal, fronteira agrícola.

Abstract

Deforestation, especially when linked to the agricultural frontier expansion, is a noticeable problem in almost all regions of the globe, as well as one of the clearest expressions of the Anthropocene. However, how far have we destroyed our biomes? What transitions are we going through and what is the current picture of our territory? Where is the devastation most intense and what are the associated factors? This paper aims to present an overview of the change in Brazilian land cover during the period between 1985 and 2019, classifying each selected region according to the dominant land cover type. Ecological time series study using remote sensing data from MapBiomas database at national, state and municipal levels. In almost 40 years, the area destined to agriculture in Brazil has grown by more than 700,000 km² (172,973,766 acres), a territory equivalent to Chile, losing in the same period an equivalent area of forest, with Mato Grosso state as the leader in absolute values. At no time was deforestation stopped, there were periods, particularly between 2003 and 2016, of significant reduction in the Amazon and, at the same time, migration from the agricultural frontier to the Cerrado and the Pampas. The results show a country in transition and a significant increase in the area devoted to agriculture in a large part of the national territory.

Keywords: Anthropocene, deforestation, forest coverage, agricultural frontier.

1 Introdução

É possível, que nenhum país do mundo, além do Brasil, tenha seu nome em homenagem a uma árvore. Originário da Mata Atlântica e considerada árvore símbolo do país, o pau-brasil, é uma das diversas espécies da flora brasileira atualmente ameaçadas de extinção ¹. O exemplo acima não é uma exceção, desde a invasão dos colonizadores europeus em nosso território, todos os biomas brasileiros ² sofreram (e ainda sofrem) com algum nível de degradação inadequada causada pela humanidade. A Mata Atlântica, por exemplo, que em 1500 dispunha de mais de 1 milhão km², hoje possui apenas 12% de seu território preservado ³⁻⁷. Além do que, em todo o mundo, a perda das florestas tropicais aumentou exponencialmente nos últimos 250 anos e o desmatamento hoje, é considerado, um dos principais marcadores da intervenção humana nos meios naturais e um dos símbolos do Antropoceno ^{19 14-17}.

O Brasil, com 60% da Pan-Amazônia, tem um papel fundamental na preservação do meio ambiente mundial e no desafio de mitigar os efeitos das mudanças climáticas atuais e futuras ^{18,19}. Dentro deste contexto, globalmente falando, é necessário pensar que as causas para o desmatamento variam desde as macroeconômicas até condições locais ²⁰⁻²³, podemos citar como exemplos: a extração de madeira ^{24,25}, o aumento da densidade populacional e a urbanização ²⁶⁻³⁰, a construção de rodovias ³¹⁻³⁴, a mineração ³⁵⁻³⁷, a expansão da fronteira agropecuária ^{38-41,21}, além de incentivos fiscais atrelados à programas governamentais ^{20,38,42}. No Brasil, a substituição da vegetação natural também tem ligações com a variação do dólar e o aumento do preço de commodities como soja e carne bovina ^{43,44,39}.

O desmatamento é um problema complexo e não possui solução única ou simples. Segundo Fearnside ³⁹ é preciso agir em diferentes áreas como: aumento dos esforços na prevenção, revogação de ações governamentais que propiciem e a construção de alternativas para aqueles que utilizam a agropecuária como meio de subsistência. Ademais, a regulamentação de Áreas de Proteção Ambiental (APAs), de terras indígenas e quilombolas são importantes fatores para a preservação dos biomas ainda restantes ⁴⁵⁻⁴⁸. Um exemplo bem sucedido de política governamental foi o grupo de trabalho do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM) lançado em 2004, que visava o

¹⁹ O termo Antropoceno, cunhado independentemente por Paul Crutzen e Eugene Stoermer no início do século XXI, refere-se a uma nova era geológica da Terra na qual a força da atividade humana alcançou proporções planetárias, concorrendo inclusive com as forças da natureza. A utilização dos recursos naturais para o desenvolvimento da sociedade nos últimos 250 anos impulsiona a degradação do meio ambiente e encaminha a humanidade e as demais formas de vida para a beira do colapso ecológico e social. Existem diversas críticas ao nome Antropoceno, devido ao fato de que este parece ilustrar uma “responsabilidade” compartilhada igualmente por todos os seres humanos, quando claramente algumas regiões, países e corporações têm contribuído de forma muito maior do que outras para a possível catástrofe ecológica que estamos vivenciando. A grosso modo, aqueles que menos contribuíram ao longo da história para o Antropoceno são aqueles com maiores probabilidades de sofrerem suas mais graves consequências ⁸⁻¹³.

desenvolvimento da região através de meios sustentáveis e contribuiu em uma década para a redução considerável da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal ^{49,50,39,51,42,52}. Outra proposta interessante, também de 2004, era o DETER, um sistema de alerta de desmatamento e degradação florestal operado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que dava suporte às autoridades nas atividades de prevenção e fiscalização de ações contra o meio ambiente ⁵³.

Assim sendo, os quinze primeiros anos do século XXI foram de esperança para a conservação da floresta Amazônica. O mesmo não pode ser dito quanto à preservação de biomas como os Pampas e grande parte do Cerrado, particularmente a região conhecida como Matopiba, que engloba os estados do Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA). Enquanto parcelas consideráveis da Amazônia eram preservadas neste período, estes biomas sofriam com a migração das lavouras e/ou pastagens e a expansão da fronteira agrícola devido à produção de commodities, especialmente a soja ⁵⁴⁻⁵⁸.

Sempre existiram tensões entre desenvolvimento econômico das sociedades e a manutenção da resiliência do Sistema Terrestre (Earth System) ^{15,59,60}. Todavia, está cada vez mais evidente: existem limites ^{61,59,15,60,62,63}, que quando ultrapassados põem em risco a única época geológica estável suficiente e com capacidade para permitir o desenvolvimento das populações humanas contemporâneas ⁵⁹. Por falar em limites, a floresta Amazônica que já perdeu em torno de 17% de sua cobertura original ⁶⁴, está próxima de um ponto de não retorno, onde parte da floresta restante poderia se transformar em cerrado, deixando de ser um captor de CO₂ da atmosfera e passando a liberá-lo em quantidades exorbitantes ⁶⁵⁻⁶⁸. Todos estes processos combinados, põem em risco a continuidade da sociedade como a conhecemos, a vida futura dos seres humanos e de todos os outros seres vivos com os quais compartilhamos este planeta ^{61,15,16,69}.

Isto posto, este trabalho tem por objetivo avaliar, através de dados de sensoriamento remoto, a modificação na cobertura de solo, ao nível nacional, de nove Unidades da Federação (UFs) e dois municípios brasileiros durante o período 1985 a 2019.

2 Metodologia

Métodos

A partir de dados secundários foi realizado um estudo de caráter ecológico e de séries temporais, no qual analisou-se variações na cobertura de solo no território brasileiro. A divisão espacial dos dados foi realizada em três etapas. Inicialmente o resultado e a classificação para o todo o território nacional. Em seguida, resultados para três UFs que pertencem ao Arco do Desmatamento, Rondônia (RO), Pará (PA), Mato Grosso (MT), para a região do Matopiba, além dos estados de Goiás (GO), escolhido por sua posição geográfica na Região Centro-Oeste e por ser a 6ª UF em

valor de produção²⁰ (VP) de acordo com a Produção Agrícola Municipal (PAM) em 2019 e Rio Grande do Sul (RS), escolhido por ser a 3ª UF em VP e pelo já registrado aumento do desmatamento nos Pampas (MAPA,2020). Por fim, resultados dos dois municípios brasileiros com maior VP, Sorriso e Sapezal ambos em Mato Grosso, também de acordo com a Produção Agrícola Municipal (PAM) em 2019.

Aquisição e características dos dados

A coleta dos dados de cobertura do solo foi obtida, junto ao Projeto MapBiomas – Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, acessado em 19 de julho de 2021 através do link (<https://MapBiomas.org/estatisticas>). O Projeto MapBiomas é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. A descrição completa do projeto encontra-se em (<http://MapBiomas.org>). Os dados do MapBiomas são obtidos por meio de sensoriamento remoto, baseados nas imagens dos satélites da série Landsat com resolução de 30 metros^{72,73}. O processo de classificação das imagens é automatizado e os dados são disponibilizados em séries temporais estaduais e municipais divididos em seis níveis principais, que no presente trabalho foram associados a uma cor: Floresta (verde), Formação Natural Não Florestal (amarelo), Agropecuária (vermelho), Área Não Vegetada (marrom), Corpo de Água (azul) e Não Observados (preto)⁷². Somados, estes seis níveis, formam a totalidade de cobertura de solo para uma região, UF ou município.

Análise dos dados

Os gráficos de linhas das séries temporais e análises estatísticas foram realizados com o programa R (RStudio) versão 3.6.1 para Windows (<https://www.r-project.org/>), já os mapas foram gerados no programa Quantum Gis (QGIS) versão 2.18 (Las Palmas) (<https://www.qgis.org/>). Foram obtidos percentuais de cobertura de solo de cada um dos seis níveis citados acima, para todas as nove UFs e para os dois municípios, entre o período de 1985 a 2019 conforme a Equação 1a e 1b.

$$\text{Percentual de cobertura} = \frac{\text{valor do nível em um ano qualquer (ha)}}{\text{área territorial da UF (ha)}} * 100 \quad (1a)$$

$$\text{Percentual de cobertura} = \frac{\text{valor do nível em um ano qualquer (ha)}}{\text{área territorial do município (ha)}} * 100 \quad (1b)$$

Em seguida, os resultados de todos os níveis foram agrupados em um único gráfico de linhas representando a série temporal da cobertura do solo da região. Por fim, foi acrescentado em cada gráfico linhas verticais (tracejadas em preto) que

²⁰ O VP leva em conta o faturamento anual de todos os estabelecimentos agropecuários dentro de cada município ou UF e é medido em bilhões de reais^{70,71}.

delimitam o período entre 2003 e 2016, período de atuação do PPCDAm em conjunto com o DETER.

Proposta de indicadores

Seguindo a proposta de Rockström *et al.* (2009)⁶¹, de que não mais de 15% da área livre de cobertura de gelo deveria ser transformada em área agricultável. Proposta esta, que foi atualizada por Steffen *et al.* (2015)⁵⁹, modificando a variável de controle para, conservação de no mínimo 85% de cobertura florestal original como ideal, propõe-se, na Tabela 1, a seguinte classificação para os resultados de cobertura de solo, levando em consideração que o Brasil não tem nenhuma área de cobertura de gelo permanente^{61,9,59,74,75}:

Tabela 1. Classificação regional proposta para a cobertura de solo com base nos 6 níveis de cobertura do solo tomando a agropecuária como nível de referência.

(%) de agropecuária	Descrição	Classificação
< 15%	UF ou município onde a atividade agropecuária representa menos de 15% da cobertura total do solo	preservado
Entre 15% e tornar-se cobertura dominante	UF ou município onde a agropecuária está acima de 15% de cobertura de solo, entretanto ainda não tornou-se a cobertura de maior percentual entre os 6 níveis.	pré-transição
Após tornar-se dominante, mas sem estabilidade	UF ou município onde a agropecuária já transformou-se na cobertura dominante, ou seja, já possui o maior valor percentual entre os 6 níveis. Além disso, é perceptível a expansão deste percentual.	pós-transição
Agropecuária dominante e estável	UF ou município onde a agropecuária é a cobertura dominante e mantém relativa estabilidade de seu percentual (ou mesmo uma ligeira redução) durante o período de estudo.	antropogênico

Dentro da dicotomia entre paisagens naturais e paisagens modificadas pela humanidade, entende-se que dos seis níveis de cobertura do solo, apenas dois (Agropecuária e Área Não Vegetada) são compostos por coberturas majoritariamente antropogênicas. A agropecuária tem por subníveis: agricultura, pastagem e mosaico agricultura/pastagem. Já as Áreas Não Vegetadas tem por subníveis: infraestrutura urbana, mineração, praias e dunas e outras. A Floresta tem por subníveis: floresta natural e floresta plantada. A Formação Natural Não Florestal tem por subníveis: afloramento rochoso, apicum²¹, formação campestre e outras, estes são alguns elementos característicos dos biomas Cerrado, Caatinga e Pampa.

²¹ Apicum pode ser considerado, de forma bem resumida, um tipo de manguezal. Ver: ⁷⁶

Os Corpos de Água tem por subníveis: aquicultura²², oceano, rios e lagos (não especificando se são naturais ou artificiais como as represas). Finalmente, os dados Não Observados representam pixels que por alguma razão não passaram pelo processo de classificação de imagens.

Desta forma, e apesar de represas, cidades e florestas replantadas serem classificadas como atividades humanas, consideraremos neste trabalho apenas a degradação gerada pela atividade agropecuária como característica antropogênica (de acordo com o indicador de agropecuária proposto). Usualmente, observamos que a formação natural que predominou durante toda a história do lugar e que figura como cobertura dominante, a partir de um certo período, começa a diminuir de maneira inversamente proporcional ao crescimento da área destinada a agropecuária, diminuindo assim a distância entre as curvas. Em alguns casos, o território destinado à agropecuária supera o território natural (as duas curvas assemelham-se ao formato da letra “X”). Considerando que a agricultura e a pecuária não são “naturais”, no sentido de que são desenvolvidas e realizadas pelos seres humanos, este é o instante em que consideramos que a ação antropogênica sobrepõe-se ao meio natural. A partir daí a ação humana passa a ser a força dominante na região, expandindo ainda mais seu território até encontrar uma certa estabilidade. Estabilidade que em alguns casos só é alcançada quando valores próximos de 100% do território regional são transformados em agropecuária. Por fim, para alguns períodos e lugares distintos, foram calculadas as taxas anuais médias de transformação (ou seja, o quanto em média estava sendo transformado a cada ano), obtidas através da regressão linear das curvas da agropecuária.

3 Resultados

Entre 1985 e 2019, a área destinada à agropecuária, no território nacional, aumentou de 20,86% para 27,01%. Este aumento de 6,15% corresponde a uma área de mais de 770 mil km², equivalente ao território do Chile. No mesmo período, a cobertura florestal recuou de 70,19% para 64,15% e as Formações Naturais Não Florestais diminuíram 0,4%, passando de 6,79% para 6,39%, perdendo juntas aproximadamente 812 mil km², área quase equivalente à transformada em agropecuária. Este resultado classificaria o Brasil como um todo como uma região em pré-transição, com uma taxa geral média de transição para a agropecuária de 0,28% do território anualmente, uma área equivalente ao estado do Sergipe (SE) por ano. Ainda no cenário nacional, quando separamos o processo em dois estágios: anterior a 2003 e no período entre 2003 e 2016 percebemos que a ascensão da agropecuária em nenhum momento foi revertida, mas os períodos têm taxas de expansão bem distintas. Enquanto a taxa média de expansão foi de 0,34% ao ano no período entre 1985 e 2002, a taxa média de expansão entre 2003 e 2016 foi de 0,14% ao ano, uma redução de 58,82%.

²² Aquicultura é a ciência que pesquisa e desenvolve técnicas para o cultivo e reprodução de diversos tipos de animais aquáticos em ambientes controlados. Exemplo: criação de crustáceos e/ou peixes em tanques ou lagos artificiais ⁷⁷.

Vejam, na Figura 1, o comportamento de cada UF e sua classificação.

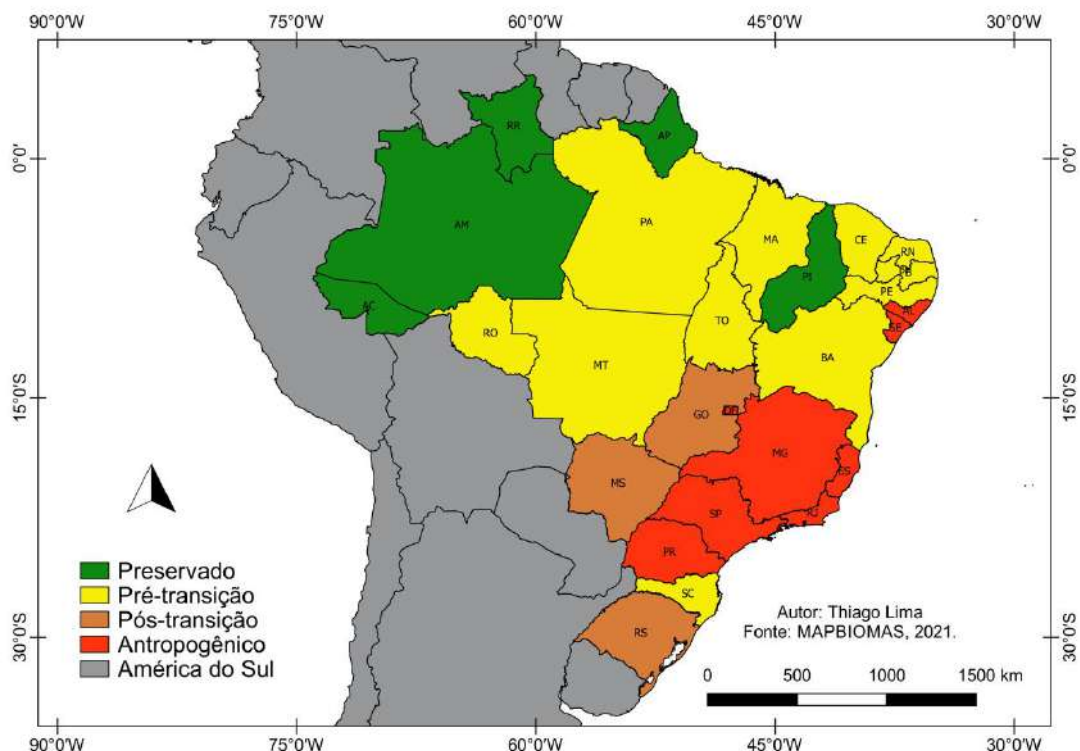


Figura 1. Classificação das UFs de acordo com a área destinada à agropecuária no ano de 2019.

Dos cinco estados classificados como preservados, apenas três mantêm estáveis suas coberturas florestais, Amazonas (AM), Amapá (AP) e Roraima (RR). Acre (AC), de 3% para 12%, e Piauí (PI), de 8% para 13%, apresentaram aumentos consideráveis em suas áreas destinadas à agropecuária no período de estudo, mas ainda abaixo de 15% e por isso foram considerados como preservados. Estados da região Nordeste, Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE) e Bahia (BA), do Arco do Desmatamento, Rondônia (RO), Mato Grosso (MT), Pará (PA), Tocantins (TO) e Maranhão (MA), além de Santa Catarina (SC) estão em pré-transição, o que também indica uma expansão da fronteira agrícola nestas UFs. Estados produtores de commodities como Goiás (GO), Mato Grosso do Sul (MS) e Rio Grande do Sul (RS) ⁷¹ também apresentam expansões, além do fato de que nestes, a agropecuária já é a cobertura dominante, ou seja, estão em pós-transição. Alagoas (AL), Sergipe (SE), Paraná (PR), Distrito Federal (DF), ademais dos estados da região Sudeste, Espírito Santo (ES), Minas Gérias (MG), Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP) estão na categoria antropogênicos. Em algumas destas UFs o percentual de agropecuária chega a 60% ou 70% do território total e em alguns casos como os estados da região Sudeste este percentual tem decaído ligeiramente nos últimos anos.

A Figura 2 apresenta os resultados para nove UFs. Dois estados do Arco do Desmatamento, Pará (PA) e Rondônia (RO), deixaram a classificação de

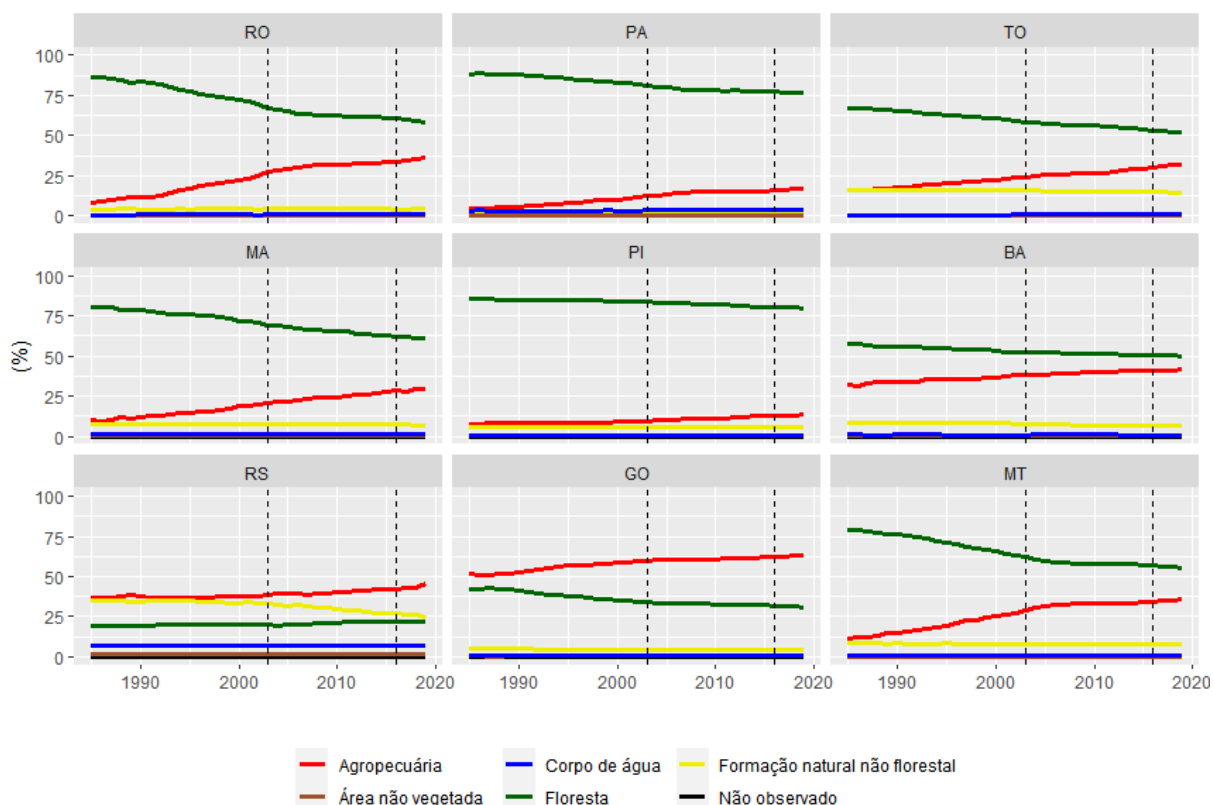
preservados que possuíam em 1985 para estados em pré-transição em 2019, além de apresentarem redução na taxa de conversão para a agropecuária no período entre 2003 e 2016. Ambos viram suas áreas destinadas à agropecuária praticamente quadruplicarem, respectivamente saindo de 4% para 16% e de 8% para 36% de seus territórios. Somente no Pará, uma área equivalente ao estado do Ceará (CE), ou equivalente ao Nepal, foi convertida em agropecuária, já em Rondônia uma área equivalente ao estado da Paraíba (PB), ou equivalente à Croácia, também foi convertida. O estado do Tocantins (TO) já possuía um pouco mais de 15% de área destinada à agropecuária em 1985 (estamos considerando o território, pois como estado, o Tocantins só foi criado em 1988), no entanto o valor atual mais que dobrou chegando a 32% de seu território, além de não apresentar redução significativa na taxa de conversão em nenhum dos períodos de estudo.

Entre 1985 e 2019, todos os estados da região Nordeste apresentaram aumento na área destinada à agropecuária. O Maranhão (MA) também deixou a categoria preservado, na qual estava em 1985, para a pré-transição. O estado viu sua área destinada à agropecuária triplicar saindo de 10% para 30% de seu território, além de não apresentar redução na taxa de transformação entre 2003 e 2016. O Piauí (PI) que ainda está na categoria preservado, viu sua agropecuária crescer de 8% para quase 13%, ainda abaixo de 15%, com aumento na taxa de transformação no período 2003 e 2016. A Bahia está muito próxima da transição (o momento do “X” no gráfico) e apresenta uma taxa de transformação próxima da constante, isto é, sem grandes alterações no período entre 2003 e 2016.

O Rio Grande do Sul (RS) está na fase de pós-transição desde o começo do período de estudo, mas ainda sem estabilidade no processo, pois sua área agropecuária aumentou de 37,00% em 1985 para 45,38% em 2019. Diferentemente das outras UFs, onde a expansão agrícola afetou negativamente as florestas, o Rio Grande do Sul também ganhou cobertura florestal, de 19,71% em 1985 para 21,83% em 2019. Todavia, a Formação Natural Não Florestal, que no Rio Grande do Sul representa o bioma Pampa, reduziu-se de 35,01% em 1985 para 24,30% em 2019 com uma aceleração significativa entre 2003 e 2016.

Goiás (GO), classificado como pós-transição, é o único estado apresentado aqui que já possuía desde o início da série histórica, maioria de sua cobertura territorial destinada à agropecuária. Assim como a Bahia, apresenta uma taxa de transformação quase constante. A UF apresenta ainda estabilidade na Formação Natural Não Florestal, que aqui representada pelo Cerrado. Mato Grosso (MT), que atualmente é o estado brasileiro com maior VP, deixou a categoria preservado que ocupava em 1985, com 11,59% de agropecuária, e atualmente está em pré-transição, com 35,71% de agropecuária. Em 34 anos, mais de 217 mil km² foram transformados, uma área equivalente ao estado de Roraima (RR) ou equivalente a Guiana, colocando o Mato Grosso como o maior conversor de todas as UFs em números absolutos, conversão que ocorreu majoritariamente na região amazônica. No momento atual, mais de 322 mil km² estão convertidos em agropecuária, área equivalente ao estado do Maranhão (MA) ou equivalente ao Vietnã. Apesar disso, ocorreu uma significativa redução na taxa de desmatamento entre 2003 e 2016. A

taxa média total de conversão de seu território entre 1985 e 2019, foi de 0,78% ao ano. Antes de 2003 a taxa era de 0,98% ao ano (em torno de 8760 km² anuais), área equivalente a sete vezes a cidade do Rio de Janeiro, e no período entre 2003 e 2016 a taxa caiu para 0,32% ao ano, ou seja, uma redução de 67%.



Pensando agora nas transformações no nível das municipalidades, temos Sorriso (9329,607 km²) e Sapezal (13623,21 km²) que são os dois municípios brasileiros com maiores valores de produção em 2019, R\$ 3,9 bilhões e R\$ 3,4 bilhões respectivamente ⁷¹. Como mostra a Figura 3, Sorriso pode ser classificado como pós-transição, ocorrida em 1998, com taxa média de transformação total de 1,6% de seu território ao ano, com dois períodos bem distintos. Entre 1985 e 2002 ocorreu a maior parte da expansão, sua área destinada à agropecuária saiu de 22,15% para 62,18% a uma incrível taxa média de transformação de 2,48% de seu território ao ano, sete vezes maior que a taxa nacional para o mesmo período e 2,5 vezes maior que a taxa do estado do Mato Grosso. Entre 2003 e 2016 esta taxa média de transformação caiu para 0,22% ao ano, uma considerável redução de 91%. Já Sapezal que em 1985 estava na categoria preservado, viu o início do processo de expansão da agropecuária na década de 1990 e hoje pode ser classificado como pré-transição, com a agropecuária saindo de 12,26% para 34,92%, com reduções tanto na Floresta (em verde) como no Cerrado (em amarelo). Também com dois momentos distintos, uma expansão no período anterior a 2003 de

1,01% ao ano, equivalente a taxa do Mato Grosso no mesmo período, que reduziu-se para 0,24% ao ano entre 2003 e 2016, uma contração de 76%.

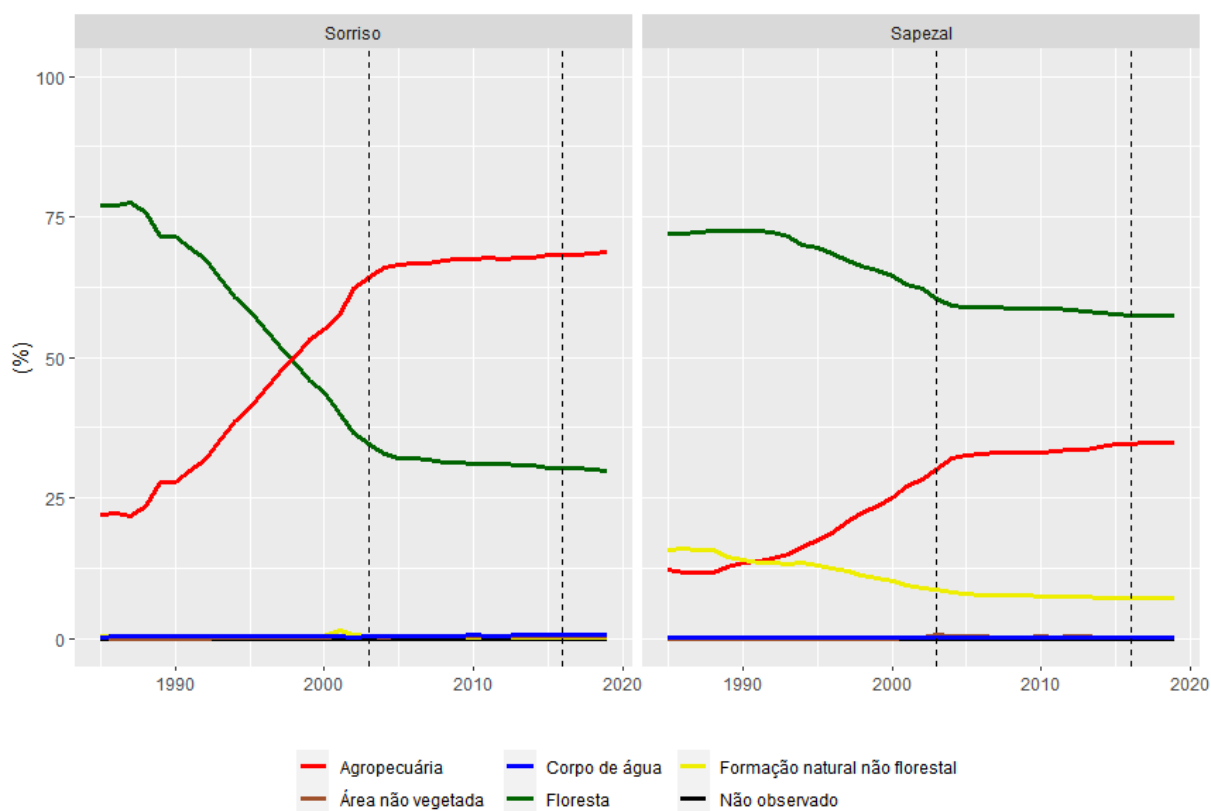


Figura 3. Porcentagem de cobertura do solo para Sorriso-MT e Sapezal-MT, os dois municípios com maior valor de produção do Brasil.

4 Discussão

Como dito anteriormente, em nenhum momento o desmatamento foi estabilizado no Brasil. De fato, houve uma redução significativa na taxa nacional entre 2003 e 2016, puxada especialmente pelos estados do Mato Grosso (MT), Pará (PA) e Rondônia (RO), o que parece estar de acordo com resultados anteriores ^{49,50,39,51,42,52}. Entretanto, estados como Acre (AC), Goiás (GO), a região do Matopiba e Rio Grande do Sul (RS) viram suas áreas destinadas à agricultura aumentarem progressivamente e até com velocidade maior, durante o período entre 2003 e 2016, sugerindo que se de alguma forma partes da Amazônia estavam sendo vigiadas e protegidas, a fronteira agrícola “migrou” para outras partes da floresta e/ou para outros biomas, como o Cerrado no caso do Matopiba e os Pampas no caso do Rio Grande do Sul ^{49,50,39,51,42,52}.

Embora nenhuma UF tenha passado da fase de pré-transição para a fase de pós-transição entre 1985 e 2019 (processo que ocorreu no nível municipal), muitas estão se aproximando rapidamente (como a Bahia) e fica nítido o aumento da área destinada à agropecuária em quase todos os estados. Como única exceção a este processo, temos a Região Sudeste, na qual todos os estados já possuem sua

maioria territorial destinada à agropecuária e uma estabilidade em suas fronteiras agrícolas. A Região Sudeste pode indicar um cenário futuro para as outras regiões, onde as fronteiras agropecuárias atingiram um limite e a partir daí estabilizaram-se ou em alguns casos até sofreram reduções.

Os estados do Arco do Desmatamento apresentam as maiores taxas médias de expansão agrícola, em especial o Mato Grosso, que produz em torno de 17% do VP nacional ⁷¹, viu seus biomas naturais se esvaírem e o agronegócio adentrar e instalar um dos setores mais lucrativos da economia brasileira ⁷⁸⁻⁸⁰. Um bom exemplo disto são os resultados dos municípios apresentados na Figura 3.

Tanto Sorriso como Sapezal sofreram significativas transformações em seu meio natural nos últimos quarenta anos. Todavia em 2019, Sapezal ainda mantinha em torno de 57% de seu território florestal preservado (além de 7,24% de Cerrado) enquanto que Sorriso mantém apenas 30% (0,23% de Cerrado). O que poderia estar por detrás do estado atual de pós-transição de Sorriso e de pré-transição de Sapezal? Uma possível explicação pode estar relacionada com as terras indígenas Enawenê Nawê (15,87% do território municipal), Tirecatina (9,62% do território municipal) e Utiriti (10,04% do território municipal) localizadas em Sapezal, que juntas ocupam mais de um terço de seu território e que mantêm suas áreas bem preservadas e com níveis baixíssimos de desmatamento ⁸¹⁻⁸³. A proteção do meio natural por meio de áreas de proteção já foi abordada e discutida em outros trabalhos ⁴⁵⁻⁴⁷.

5 Considerações finais

Infelizmente nosso país não tem cumprido seu dever no que tange a proteção do meio ambiente. Com exceção da região Sudeste, que já está classificada como antropogênica, de modo geral, todos os estados aumentaram sua área destinada à agropecuária à custa de reduções em algum de seus biomas originais assim como a região Sudeste o fez no passado. As perdas podem ser quantificadas no nível nacional, nas UFs e especialmente nos municípios, que apresentam níveis mais significativos de devastação. A classificação apresenta um país em transição, em partes significativas de seu território o Brasil segue seu caminho de desmatamento, caminho este que embora tenha protegido a Amazônia em alguns períodos, não contemplou outros biomas como o Cerrado e os Pampas. Este trabalho propõe uma classificação que pode ser utilizada e adaptada para qualquer região e período. Uma das limitações do estudo reside nos níveis da cobertura do solo, foram utilizados apenas os seis níveis principais. Por exemplo, não foi realizada uma distinção entre agricultura e pecuária (descritas no estudo como agropecuária), que são atividades distintas e interferem de forma diferente nas regiões em que estão inseridas. Pesquisas futuras podem gerar resultados utilizando também os subníveis de cobertura do solo que existem nos dados do MapBiomas. Ademais, nenhuma UF, embora algumas estejam bem próximas, alterou seu status de pré para pós-transição no período de estudo. Todavia, este fenômeno repetiu-se em inúmeros

municípios. Ficam as perguntas, quantos municípios realizaram a transição no período de estudo? Onde eles se localizam? Qual a classificação atual dos mesmos? Os municípios que realizaram a transição são municípios líderes em valor de produção? Por fim, o desmatamento é um problema complexo que acontece a todo o momento em diversas partes do país e do mundo. Não obstante, ações governamentais, aliadas a partes significativas da sociedade foram capazes de retardar sua intensidade, mas não conseguiram pará-lo e muito menos revertê-lo. No Brasil do presente, atitudes como a demarcação de terras indígenas e a não aprovação do Marco Temporal (PL nº 490/2007) são importantes ferramentas para a preservação do meio ambiente nacional. No entanto, as raízes do Antropoceno são ainda mais profundas, e as mudanças devem passar por transformações do pensamento social e econômico, da forma como vemos e vivemos neste planeta e como nos relacionamos com todos os seres vivos com os quais compartilhamos a Terra.

6 Referências

1. ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Parque Nacional do Pau Brasil [Internet]. 2021 [citado 18 de maio de 2021]. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/visitacao1/unidades-abertas-a-visitacao/9053-parque-nacional-do-pau-brasil>
2. IBGE Educa. Biomas brasileiros | Educa | Jovens - IBGE [Internet]. 2021 [citado 26 de abril de 2021]. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>
3. Drummond JA. Mata Atlântica: a história de uma destruição. *Revista Estudos Históricos*. 1996;9(17):239–52.
4. Cabral DDC, Cesco S. Notas para uma história da exploração madeireira na Mata Atlântica do sul-sudeste. *Ambiente & Sociedade*. 2008;11(1):33–48.
5. Barreto MP. A mata atlântica e o ensino de história: da pré-história ao período colonial brasileiro. *movimento-revista de educação*. 2017;(6):272–305.
6. de Souza Barbosa K, de Souza Leffeld L. A atemporalidade da tela de Johann Moritz Rugendas em relação ao desmatamento na Mata Atlântica. *Anais do CIDIL*. 2018;514–32.
7. SOS Mata Atlântica. SOS Mata Atlântica | #EleNãoVerdeSim [Internet]. 2020 [citado 26 de abril de 2021]. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/>
8. Crutzen PJ. The “anthropocene”. Em: *Journal de Physique IV (Proceedings)*. EDP sciences; 2002. p. 1–5.
9. Artaxo P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? *Revista Usp*. 2014;(103):13–24.
10. Haraway D. Antropoceno, capitaloceno, plantationoceno, chthuluceno: fazendo parentes. *ClimaCom Cultura Científica*. 2016;3(5):139–46.
11. Silva CM, ARBILLA G. Antropoceno: os desafios de um novo mundo. *Revista Virtual de Química*. 2018;10(6):1619–47.

12. Alves JED. Antropoceno: a Era do colapso ambiental | CEE Fiocruz [Internet]. CEE - Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz. 2020 [citado 24 de agosto de 2021]. Disponível em: <https://cee.fiocruz.br/?q=node/1106>
13. Zalasiewicz J, Waters C, Williams M. The anthropocene. Em: *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier; 2020. p. 1257–80.
14. Myers SS, Gaffikin L, Golden CD, Ostfeld RS, Redford KH, Ricketts TH, *et al.* Human health impacts of ecosystem alteration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013;110(47):18753–60.
15. Steffen W, Broadgate W, Deutsch L, Gaffney O, Ludwig C. The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *The Anthropocene Review*. 2015;2(1):81–98.
16. Whitmee S, Haines A, Beyrer C, Boltz F, Capon AG, de Souza Dias BF, *et al.* Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation–Lancet Commission on planetary health. *The lancet*. 2015;386(10007):1973–2028.
17. Myers SS. Planetary health: protecting human health on a rapidly changing planet. *The Lancet*. 2017;390(10114):2860–8.
18. IPCC. Global Warming of 1.5 °C — [Internet]. 2018 [citado 18 de maio de 2021]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
19. INPE. PANAMAZÔNIA - INPE [Internet]. Monitoramento da Cobertura Vegetal da Amazônia Sul Americana. 2021 [citado 18 de maio de 2021]. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/panamazonia/>
20. NEPSTAD DC, KLINK CA, Uhl C, VIEIRA IC, Lefebvre P, Pedlowski M, *et al.* Land-use in Amazonia and the cerrado of Brazil. Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE). 1997;
21. Curtis PG, Slay CM, Harris NL, Tyukavina A, Hansen MC. Classifying drivers of global forest loss. *Science*. 2018;361(6407):1108–11.
22. Rocha SA, Matricardi EAT, Miguel EP, Lani JL, Oliveira CHA de, Gatto A. Deforestation Dynamics in the Nova Bonal Sustainable Development Project, Acre, Brazil. *Floresta e Ambiente*. 2019;26(4).
23. Duarte ML, Brito WBM, da Silva TA, de Castro AL. Padrões e causas do desmatamento no Baixo Acre, região oeste da Amazônia brasileira. *Journal of Environmental Analysis and Progress*. 2020;5(1):117–27.
24. Arvor D, Meirelles M, Dubreuil V, Begue A, Shimabukuro YE. Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. *Applied Geography*. 2012;32(2):702–13.
25. Garcia AS, Ballester MVR. Land cover and land use changes in a Brazilian Cerrado landscape: drivers, processes, and patterns. *Journal of Land Use Science*. 2016;11(5):538–59.
26. Coletta V, Lombardi F, Altieri V, Bombino G, Marcianò C, Menguzzato G, *et al.* Environmental resources conservation through sustainable forest management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2016;223:758–63.

27. da Silva JMC, Prasad S, Diniz-Filho JAF. The impact of deforestation, urbanization, public investments, and agriculture on human welfare in the Brazilian Amazonia. *Land Use Policy*. 2017;65:135–42.
28. Ünal HE, Birben Ü, Bolat F. Rural population mobility, deforestation, and urbanization: case of Turkey. *Environmental monitoring and assessment*. 2019;191(1):1–12.
29. Arshad Z, Robaina M, Shahbaz M, Veloso AB. The effects of deforestation and urbanization on sustainable growth in Asian countries. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020;1–22.
30. Nathaniel SP, Bekun FV. Environmental management amidst energy use, urbanization, trade openness, and deforestation: The Nigerian experience. *Journal of Public Affairs*. 2020;20(2):e2037.
31. Brandão Jr AO, Souza Jr CM. Mapping unofficial roads with Landsat images: a new tool to improve the monitoring of the Brazilian Amazon rainforest. *International Journal of Remote Sensing*. 2006;27(1):177–89.
32. Potapov P, Yaroshenko A, Turubanova S, Dubinin M, Laestadius L, Thies C, *et al*. Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing. *Ecology and Society*. 2008;13(2).
33. Barber CP, Cochrane MA, Souza Jr CM, Laurance WF. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological conservation*. 2014;177:203–9.
34. Kleinschroth F, Healey JR. Impacts of logging roads on tropical forests. *Biotropica*. 2017;49(5):620–35.
35. Sonter LJ, Barrett DJ, Soares-Filho BS, Moran CJ. Global demand for steel drives extensive land-use change in Brazil's Iron Quadrangle. *Global Environmental Change*. 2014;26:63–72.
36. Alvarez-Berríos NL, Aide TM. Global demand for gold is another threat for tropical forests. 2015;10:014006.
37. Sonter LJ, Herrera D, Barrett DJ, Galford GL, Moran CJ, Soares-Filho BS. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. *Nature Communications*. 2017;8(1):1–7.
38. Bampi AC, Dutra MM, da Silva CAF, Arantes A, Sroczynski CI. Expansão da fronteira agrícola capitalista no Baixo Araguaia Brasileiro (MT): alterações ambientais e conflitos socio-territoriais. *Estudios Socioterritoriales Revista de Geografía*. 2017;(21):29–45.
39. Fearnside PM. Como sempre, os negócios: o ressurgimento do desmatamento na Amazônia brasileira. *Yale Environment*. 2017;360:18.
40. Kastens JH, Brown JC, Coutinho AC, Bishop CR, Esquerdo JCD. Soy moratorium impacts on soybean and deforestation dynamics in Mato Grosso, Brazil. *PloS one*. 2017;12(4):e0176168.
41. Avelino EN. Expansão da fronteira agrícola sobre o Cerrado: o mapeamento do uso da terra no município de Diamantina-MT. *Revista de Geociências do Nordeste*. 2018;4:89–101.
42. Castelo TB, Adami M, Almeida CA, de Almeida OT. Governos e mudanças nas políticas de combate ao desmatamento na Amazônia. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*. 2018;28:0125–48.
43. Domingues MS, Bermann C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. *Ambiente & sociedade*. 2012;15(2):1–22.

44. Ferreira MDP, Coelho AB. Desmatamento Recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. *Revista de Economia e Sociologia Rural*. 2015;53(1):91–108.
45. Ferreira LV, Venticinque E, Almeida S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estudos avançados*. 2005;19(53):157–66.
46. Paiva RJO. O papel das áreas protegidas na contenção do desmatamento no bioma Cerrado. 3 de março de 2017 [citado 10 de junho de 2021]; Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/23580>
47. Siani SM, Pessoa AC, Harding BMBT, Anderson LO. AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DAS ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL EM REDUZIR O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA. 2019;
48. Ferreira ES. Análise da base de dados e indicadores de desmatamento em terras indígenas na Amazônia Legal. 14 de dezembro de 2020 [citado 10 de junho de 2021]; Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/41016>
49. Brasil. Presidência da República [Internet]. Diário Oficial da União, Lei nº 10.216, de 6 de abril de 2001. abr 9, 2001 p. 2. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10216.htm
50. Maia H, Hargrave J, Gómez JJ, Röper M. Avaliação do Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal: PPCDAm: 2007-2010. Evaluation of the Action Plan to Prevent and Control the Deforestation in the Brazilian Amazon: PPCDAm: 2007-2010 [Internet]. outubro de 2011 [citado 10 de junho de 2021]; Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/885>
51. Mello NGR de, Artaxo P. Evolução do plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia legal. *Revista do Instituto de Estudos Brasileiros*. 2017;(66):108–29.
52. Ramos AA. Influência do PPCDAm no combate ao desmatamento na Amazônia legal brasileira. *Innovation and Technological Development*. 2020;1(1).
53. Diniz CG, Souza AA de A, Santos DC, Dias MC, Luz NC da, Moraes DRV de, *et al.* DETER-B: The New Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System. *IEEE J Sel Top Appl Earth Observations Remote Sensing*. julho de 2015;8(7):3619–28.
54. Pereira LI, Pauli L. MATOPIBA: controle do território e expansão da fronteira da estrangeirização da terra. *Revista NERA*. 2016;22(47):148–72.
55. Garcia JR, Vieira Filho JER. A questão ambiental ea expansão da fronteira agrícola na direção do Matopiba brasileiro. *Texto para Discussão*; 2017.
56. Capoane V, Kuplich TM. Expansão da agricultura no bioma Pampa. 8 Região de Estudos Ambientais. 2018;
57. Kuplich TM, Capoane V, Costa LFF. O avanço da soja no Bioma Pampa. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*. 2018;(31):83–100.
58. Santos JFS. Produção de soja, desigualdades no campo e mudanças climáticas na região do Matopiba. *DRd-Desenvolvimento Regional em debate*. 2020;10:535–61.
59. Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell SE, Fetzer I, Bennett EM, *et al.* Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* [Internet]. 13 de fevereiro de

2015 [citado 17 de junho de 2021];347(6223). Disponível em:
<https://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855>

60. Raworth K. A Doughnut for the Anthropocene: humanity's compass in the 21st century. *The Lancet Planetary Health*. 2017;1(2):e48–9.

61. Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson VAAsa, Chapin III FS, Lambin E, *et al*. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and society*. 2009;14(2).

62. Raworth K. *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. Chelsea Green Publishing; 2017.

63. Ross F. Kate Raworth-Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st Century Economist (2017). *Regional and Business Studies*. 2019;11(2):81–6.

64. INPE. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [Internet]. Perguntas Frequentes. 2021 [citado 18 de junho de 2021]. Disponível em: <http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=6>

65. Nobre AD. O futuro climático da Amazônia. Relatório de Avaliação Científica São José dos Campos, São Paulo. 2014;

66. Levine NM, Zhang K, Longo M, Baccini A, Phillips OL, Lewis SL, *et al*. Ecosystem heterogeneity determines the ecological resilience of the Amazon to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016;113(3):793–7.

67. Lovejoy TE, Nobre C. Amazon tipping point. *American Association for the Advancement of Science*; 2018.

68. Lovejoy TE, Nobre C. Amazon tipping point: Last chance for action. *American Association for the Advancement of Science*; 2019.

69. Steffen W, Rockström J, Richardson K, Lenton TM, Folke C, Liverman D, *et al*. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2018;115(33):8252–9.

70. MAPA. Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP) [Internet]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2017 [citado 24 de agosto de 2021]. Disponível em:
<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>

71. MAPA. Municípios com alta produção agrícola impactam PIB local, mostra estudo do Mapa [Internet]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2020 [citado 19 de julho de 2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/municipios-com-maior-valor-da-producao-agricola>

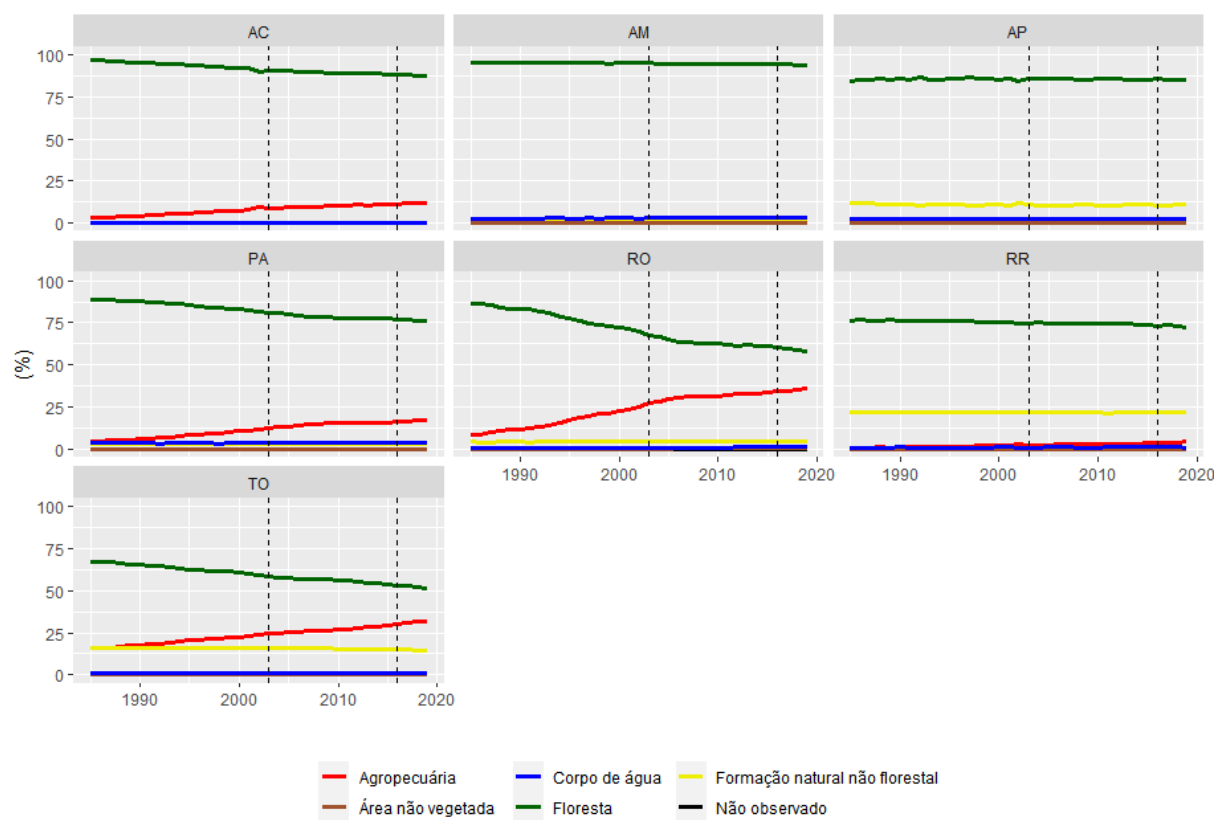
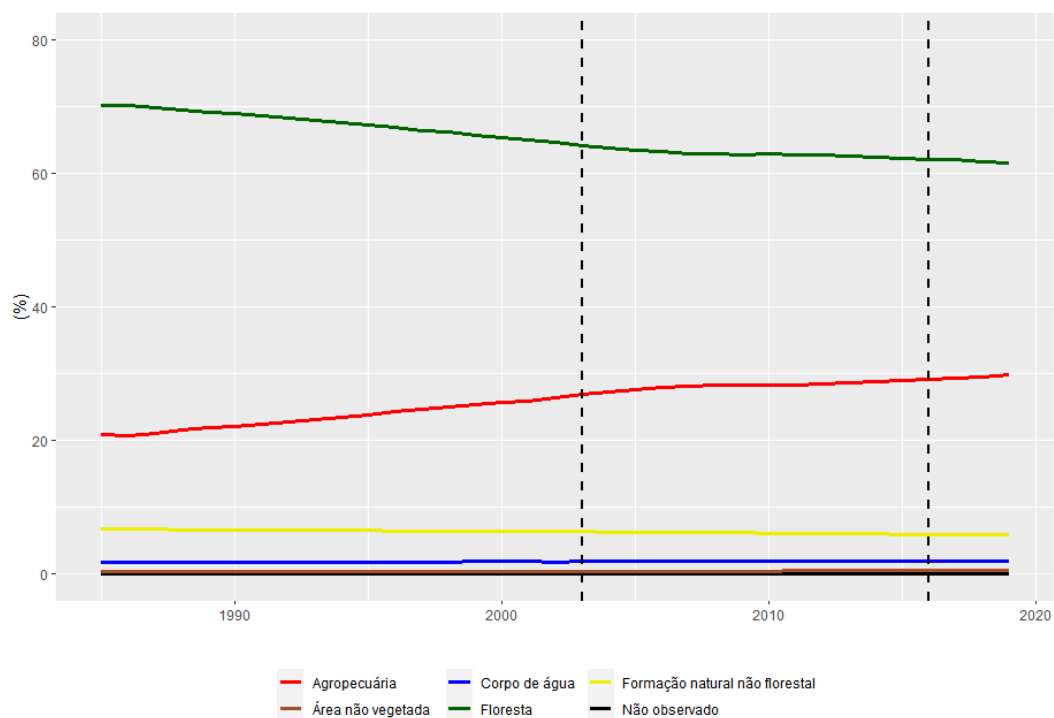
72. Mapbiomas. Mapbiomas Brasil [Internet]. 2021 [citado 28 de abril de 2021]. Disponível em:
<https://mapbiomas.org/>

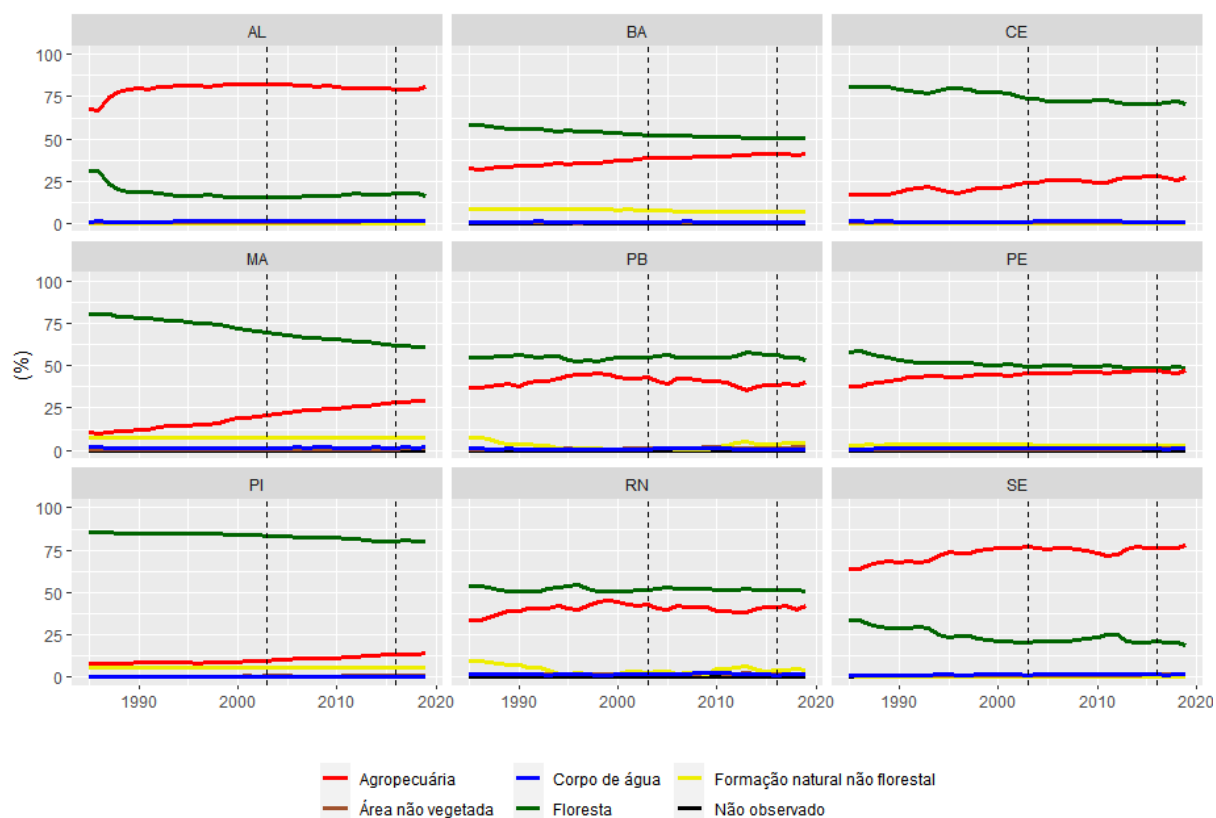
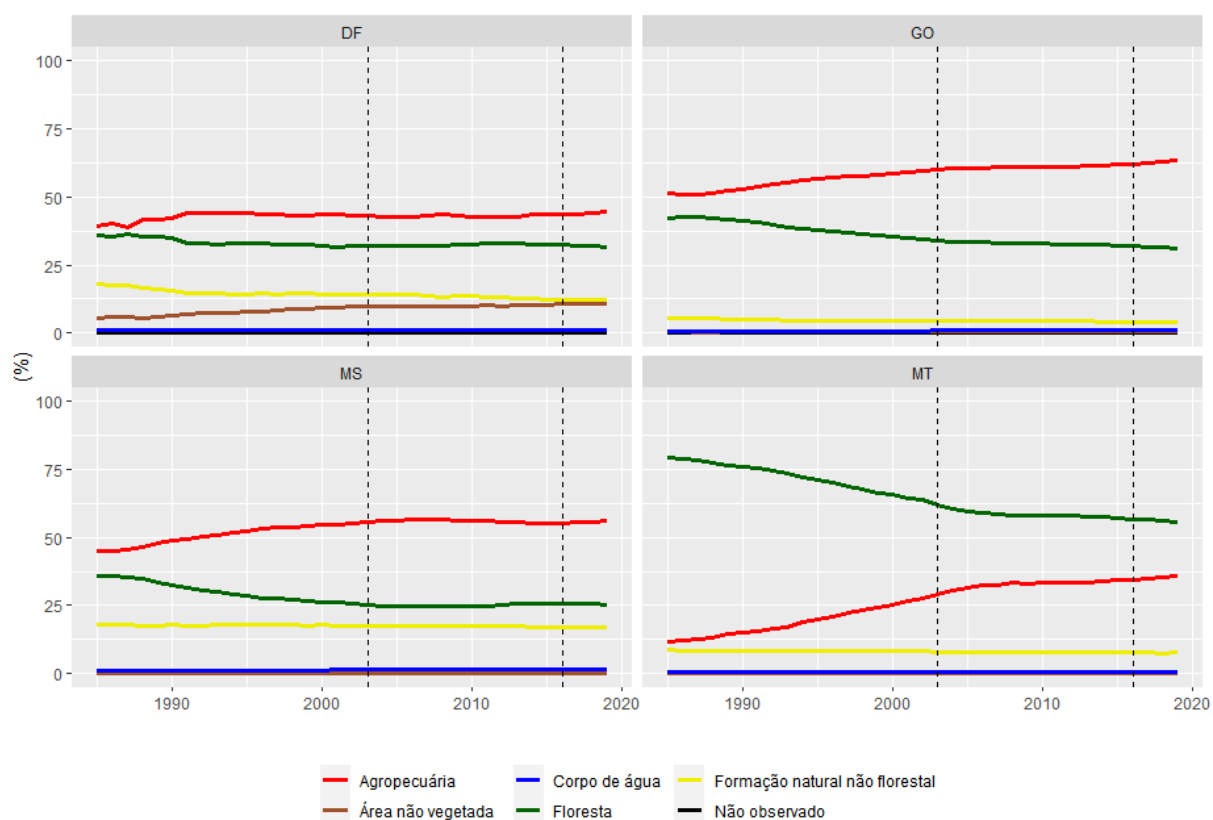
73. Souza CM, Z Shimbo J, Rosa MR, Parente LL, A Alencar A, Rudorff BF, *et al*. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*. 2020;12(17):2735.

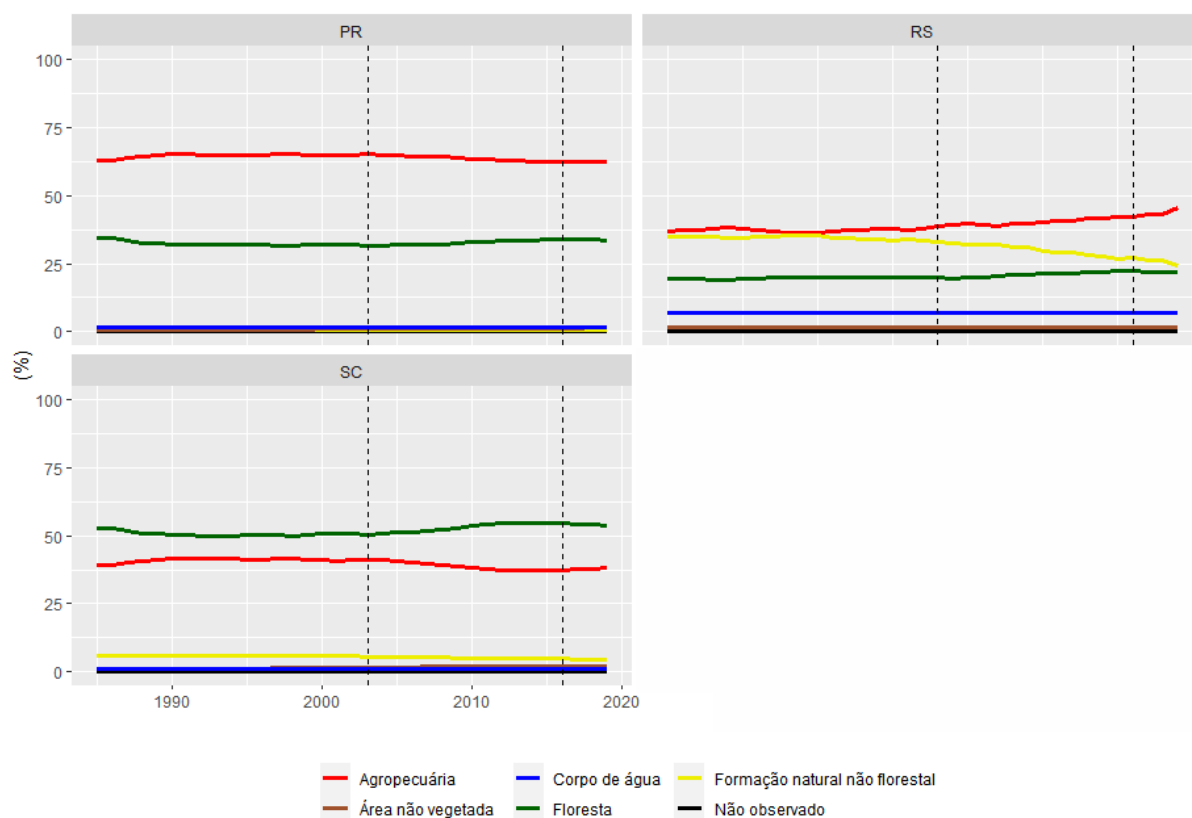
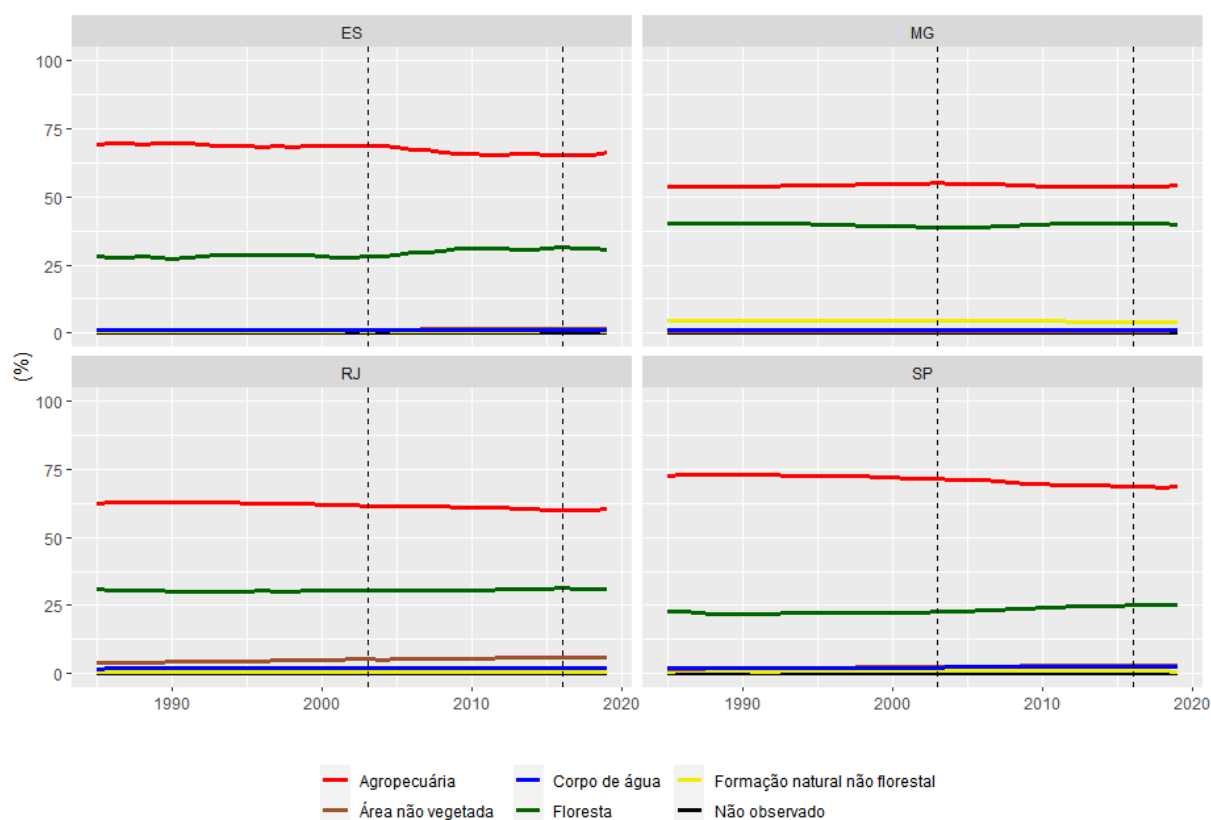
74. Campbell BM, Beare DJ, Bennett EM, Hall-Spencer JM, Ingram JS, Jaramillo F, *et al*. Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society*. 2017;22(4).

75. Nash KL, Cvitanovic C, Fulton EA, Halpern BS, Milner-Gulland EJ, Watson RA, *et al.* Planetary boundaries for a blue planet. *Nature ecology & evolution*. 2017;1(11):1625–34.
76. Schmidt AJ, Bemvenuti CE, Diele K. Sobre a definição da zona de apicum e sua importância ecológica para populações de caranguejo-uçá *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763). *Bol Técn Cient CEPENE*. 2013;19(1):9–25.
77. Embrapa. O que é aquicultura? - Pesca e Aquicultura - Portal Embrapa [Internet]. 2021 [citado 20 de julho de 2021]. Disponível em: https://www.embrapa.br/contando-ciencia/pesca-e-aquicultura/-/asset_publisher/pzk4tXFfiHGh/content/o-que-e-aquicultura-/1355746?inheritRedirect=false
78. Rozenbaum S, Leitão SP. Para um agronegócio sem exclusão. *Revista de Administração Pública*. 2006;40(2):289–312.
79. Nasralla Neto E, Lacaz FA de C, Pignati WA. Vigilância em saúde e agronegócio: os impactos dos agrotóxicos na saúde e no ambiente. *Perigo à vista! Ciência & Saúde Coletiva*. 2014;19:4709–18.
80. Serra LS, Mendes MRF, Soares MVA, Monteiro IP. Revolução Verde: reflexões acerca da questão dos agrotóxicos. *Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB*. 2016;1(4):2–25.
81. Terras Indígenas no Brasil. Terra Indígena Enawenê Nawê | Terras Indígenas no Brasil [Internet]. Terra Indígena Enawenê Nawê. 2021 [citado 31 de julho de 2021]. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3793>
82. Terras Indígenas no Brasil. Terra Indígena Tirecatinga | Terras Indígenas no Brasil [Internet]. Terra Indígena Tirecatinga. 2021 [citado 31 de julho de 2021]. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3877>
83. Terras Indígenas no Brasil. Terra Indígena Utariti | Terras Indígenas no Brasil [Internet]. Terra Indígena Utariti. 2021 [citado 31 de julho de 2021]. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3893>

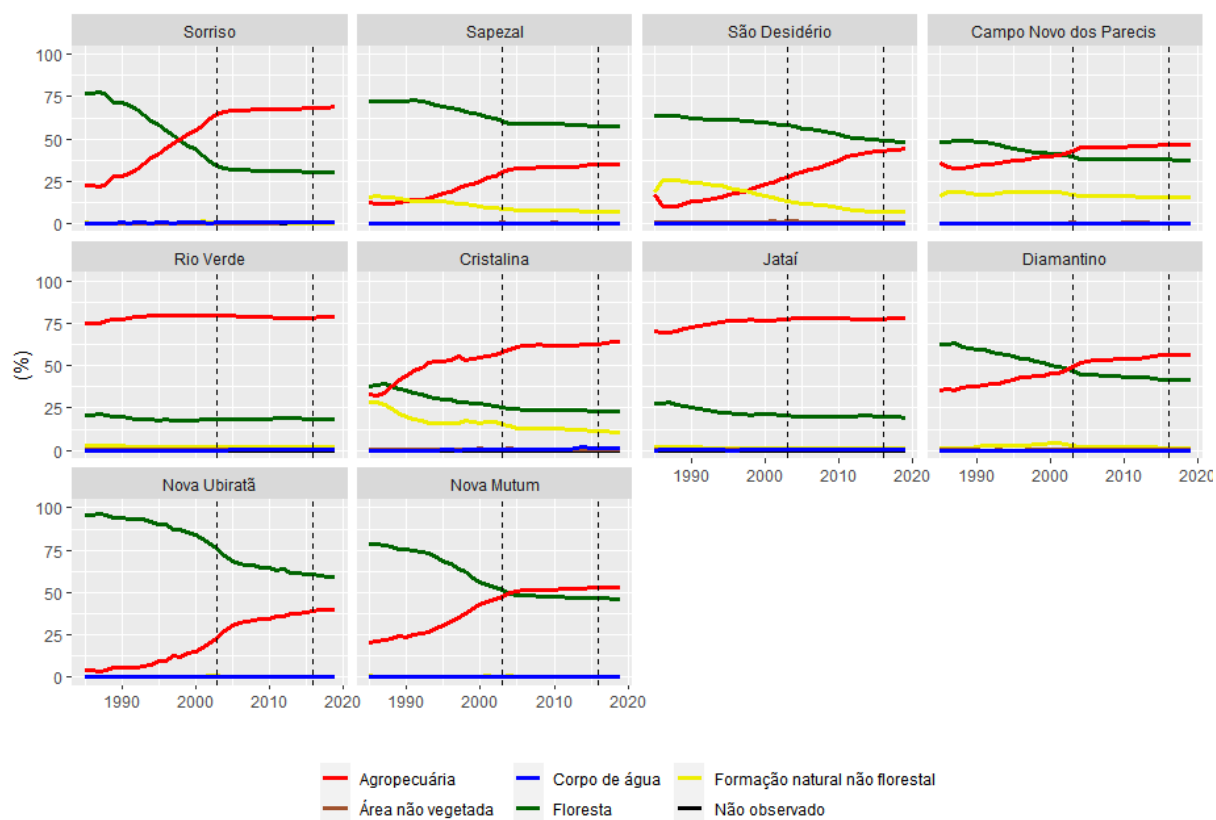
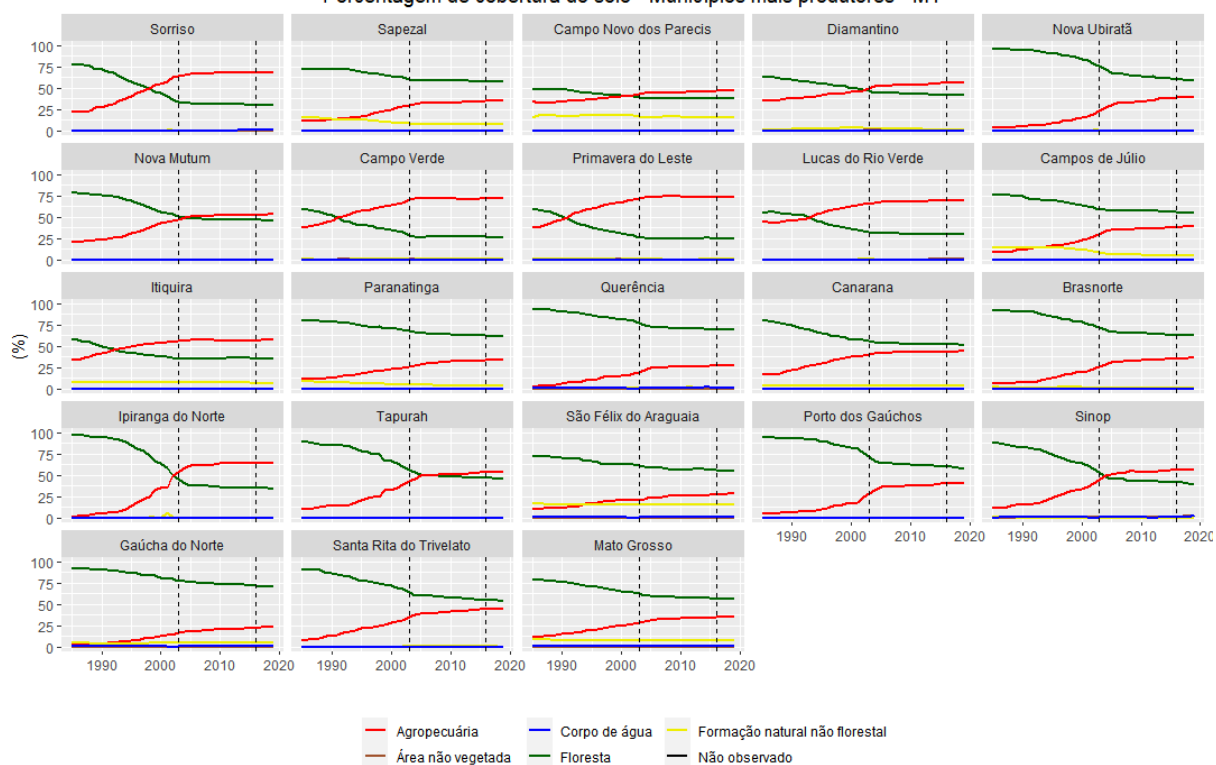
7 Apêndice







Porcentagem de cobertura do solo - Municípios mais produtores - MT



5.2 ARTIGO 2

Tendência do consumo de agrotóxicos no Brasil entre 2009 e 2020 de acordo com a classificação da OMS

Thiago Felipe Melo de Lima¹

Armando Meyer¹

Alexandre dos Santos Brito¹

Instituto de Estudos em Saúde Coletiva, Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Institute for Studies in Public Health, Health Sciences Center, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

Resumo

A utilização de agrotóxicos, principalmente em regiões agrícolas é uma dificuldade relacionada diversos problemas ambientais e sanitários. Diante disso, a OMS em 2019 lançou um documento classificando estes produtos de acordo com suas toxicidades. Contudo ficam os questionamentos, nacionalmente, o consumo está aumentando? Quais classes possuem mais representantes entre os agrotóxicos comercializados por aqui? Ainda utilizamos produtos considerados extremamente tóxicos ou proibidos em outros países? Assim sendo, este trabalho propõe-se a descrever o perfil do consumo de agrotóxicos no Brasil conforme a classificação da OMS entre 2008 e 2020. Estudo ecológico de séries temporais utilizando relatórios de comercialização de agrotóxicos da base de dados do IBAMA, para os estados com maior valor de produção. Dos 53 agrotóxicos pesquisados, 47% pertencem a classe II. A nível nacional e nos maiores produtores, o volume de agrotóxicos jamais retrocedeu, pelo contrário, mais que dobrou de tamanho. Aqui no Brasil, após a reclassificação da ANVISA também em 2019, percebemos que os agrotóxicos da classe II e III possuem os maiores volumes comercializados. O glifosato, que foi rebaixado da classe II para a III, permanece como líder, mas seu percentual do total apresenta tendência de queda, aparentemente uma mudança no perfil geral de consumo. Os resultados expõem um país ainda muito dependente do uso de agrotóxicos e até o momento sem perspectiva de redução do consumo destes produtos.

Palavras-chave: agrotóxicos, Revolução Verde, OMS, glifosato.

Abstract

The use of pesticides, especially in agricultural regions, is a difficulty related to several environmental and health problems. Considering this, the WHO in 2019 released a document classifying these products according to their toxicities. However, the questions remain, nationally, is consumption increasing? Which classes have the most representatives among the pesticides sold here? Do we still use products considered extremely toxic or banned in other countries? Therefore, this work aims to describe the profile of pesticide consumption in Brazil according to the WHO classification between 2008 and 2020. Ecological time series study using pesticide sales reports from the IBAMA database, for the states with the highest production value. Of the 53 pesticides surveyed, 47% belong to class II. At national level and in the largest producers, the volume of pesticides never declined, on the contrary, it more than doubled in size. Here in Brazil, after ANVISA's reclassification also in 2019, we realized that class II and III pesticides have the highest volumes sold. Glyphosate, which was downgraded from class II to III, remains the leader, but its percentage of the total shows a downward trend, apparently a change in the general consumption profile. The results reveal a country that is still very dependent on the use of pesticides and so far has no prospect of reducing the consumption of these products.

Keywords: pesticides, Green Revolution, WHO, glyphosate

1 Introdução

Começando por defensivos agrícolas, passando por remédios de plantas, praguicidas, pesticidas, chegando aos agrotóxicos e por fim veneno. Incontáveis são os nomes atribuídos às substâncias naturais e/ou sintéticas que tem por finalidade o controle de certos tipos de animais e plantas. Extensa também é a discussão sobre os malefícios causados por estes produtos ao meio ambiente e aos seres vivos ^{1,2}. Paralelamente ao surgimento das primeiras vilas (que depois se transformariam em cidades), conjuntamente com desenvolvimento da agropecuária e a necessidade da estocagem de grãos, surge o problema do combate às “pragas” (fungos, bactérias, insetos, plantas indesejadas, roedores, entre outros), problema este que tornou-se central para o desenvolvimento da civilização dita moderna ^{3,2}. Há mais de 2000 anos, compostos orgânicos já eram utilizados na proteção de colheitas e no processo de estocagem, mas somente no final do século XIX e início do século XX foram desenvolvidos os primeiros inseticidas sintéticos, cujos grupos mais conhecidos e mais comercializados foram (são) os organoclorados, os organofosforados e os carbamatos ^{4,5,2,6-8}. O inseticida organoclorado Dicloro-difenil-tricloroetano (DDT), por exemplo, foi utilizado pela primeira vez apenas na Segunda Guerra Mundial para controle do tifo nas tropas aliadas ^{9,10,2,11}. Anos depois, com o início da Guerra Fria, o bloco capitalista liderado pelos Estados Unidos trouxe ao mundo o conceito da *Green Revolution*, ou Revolução Verde, que era considerada a resposta do bloco para o problema da fome no mundo ¹². Monocultura, tecnologia, gestão empresarial (agribusiness, no Brasil conhecido como agronegócio), grandes máquinas, uso de material sintético (como fertilizantes e agrotóxicos) e mais recentemente organismos geneticamente modificados (GMO da sigla em inglês para *Genetically Modified Organism*)²³ resistentes a estes materiais eram os pressupostos desta revolução ^{19-22,12,23}. Este modelo inegavelmente apresentou benefícios para a produção, custo dos alimentos e na redução da pobreza ^{24,20}. Não obstante, os malefícios apareceram na mesma proporção: devastação de florestas para o aumento da fronteira agrícola, degradação dos solos e das águas e uso indiscriminado de agroquímicos. Tudo isso, com efeitos diretos e indiretos sobre os trabalhadores, sobre a fauna e flora local e sobre os alimentos produzidos no processo ^{20,25,12,26}. Aqui no Brasil, na década de 1970, a Revolução Verde foi incentivada e implementada em diversas regiões do país como modelo prioritário no tocante ao aumento da produção nacional de alimentos e na busca pelo desenvolvimento “a qualquer custo” ^{12,27}.

Vale a pena frisar que os perigos dos agrotóxicos estão em discussão desde o começo da Revolução Verde. Rachel Carson em seu livro *Silent Spring* (Primavera

²³ De certa forma, GMO foram desenvolvidos para aumentar a produção de alimentos e “melhorar” sua qualidade, seria uma das estratégias da Revolução Verde para alimentar uma população mundial em crescimento exponencial ¹³. As primeiras sementes (soja, milho e algodão) resistentes ao herbicida glifosato, utilizadas em larga escala, foram aprovadas em 1996 nos Estados Unidos ¹⁴⁻¹⁶. Aqui no Brasil foram aprovadas e regulamentadas em 2003^{17,18}.

Silenciosa), já na década de 1960 nos Estados Unidos, chamava a atenção para o assunto e denunciava os danos causados pelo DDT na biodiversidade, especialmente nos pássaros ^{28,29,2,30,31}. No Brasil, trabalhos como *O Fim do Futuro?* de José Lutzenberger em 1976 ^{32,33,26}, o Manifesto ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais de 1979, escrito por Ana Maria Primavesi ^{34,26} e a *Questão Agrária e Ecologia* de 1982, escrito por Francisco Graziano Neto ^{35,26} também apontavam para os problemas que poderiam originar-se com o uso imoderado de agroquímicos.

Nacionalmente, os agrotóxicos foram oficializados a partir da Lei nº 7802 de 11 julho de 1989 e regulamentados pelo artigo nº 1 do Decreto 4074 de 4 de janeiro de 2002 ¹⁷, regulamentação concomitante a aprovação dos GMO. A partir daí, não foi um caminho muito longo para que o Brasil ocupasse, ao menos por um período, a posição de maior consumidor de agrotóxicos do mundo ^{36–38,12,31,39}. Como categoria, os agrotóxicos abrangem um grande número de compostos químicos como herbicidas, inseticidas, fungicidas, algicidas, reguladores de crescimento, desfolhantes, entre outros ^{1,40,41,2}. A Organização Mundial da Saúde (OMS) propõe uma classificação por meio de parâmetros toxicológicos de acordo com a letalidade, quantidade conhecida como dosagem letal 50% (DL₅₀)²⁴, de seu ingrediente ativo (IA)⁴². A partir daí os agrotóxicos são classificados em classes e comercializados com estes rótulos. Ademais, de acordo com a duração, a exposição a estes agrotóxicos sofrida pelos seres humanos pode ser classificada como: aguda (curto prazo), subaguda (médio prazo) e crônica (longo prazo). Todos os três tipos estão associados com agravos (envenenamentos, convulsões, vômitos, suicídios) ^{43,44,39,45} e/ou doenças (malformações, distúrbios neurológicos, cânceres) ^{46–50,45}. No Brasil ainda convivemos com diversos produtos proibidos nos países desenvolvidos ³⁹ que aumentam os riscos de intoxicações e ao mesmo tempo oneram nosso sistema de saúde.

Desta forma, este trabalho tem por objetivo descrever o perfil do consumo de agrotóxicos conforme a classificação da OMS de 2019 em quatro Unidades da Federação no período entre 2009 e 2020.

2 Metodologia

População e métodos

A partir de dados secundários foi realizado um estudo de caráter ecológico e de séries temporais, no qual analisou-se relatórios anuais de comercialização de agrotóxicos no território nacional, divididos por estados. Foram selecionadas as

²⁴ De maneira geral, esta classificação ocorre por intermédio de testes laboratoriais que estabelecem qual a quantidade necessária para eliminar 50% dos animais (ou plantas, ou fungos, etc.) com a substância que se quer testar. A letalidade está em função da concentração de substância no corpo do indivíduo e é expressa em miligramas por quilograma de massa corporal (mg/kg) ^{1,2}.

quatro UFs com maior valor de produção²⁵ (VP) de acordo com a Produção Agrícola Municipal (PAM) em 2019: Mato Grosso (MT), São Paulo (SP), Rio Grande do Sul (RS) e Paraná (PR), que juntas somam mais de 54% do VP brasileiro ⁵² (os resultados de todas as UFs estão no Apêndice).

Aquisição e características dos dados

A coleta dos dados sobre agrotóxicos foi obtida junto ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), na figura do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), mediante relatórios semestrais de comercialização de agrotóxicos entre 2009 e 2020. Tal política de relatórios foi regulamentada pelo Decreto nº 4.074, de 4/1/2002 e via de regra significa que todas as empresas que recorrem a produtos agrotóxicos ou ingredientes ativos e afins no Brasil precisam apresentar aos órgãos de fiscalização relatórios semestrais sobre os tipos, quantidades produzidas e comercializadas ^{17,53}. Estes dados são públicos e estão acessíveis no sítio (<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>)²⁶, estes boletins estão sujeitos a retificações o que ocorreu com os dados entre 2009 e 2013 que foram recalculados em 2016, estas retificações indicam que os dados podem mudar de um ano para o outro ⁵³. Os dados são apresentados em toneladas de ingrediente ativo (IA) por esta ser a substância que confere a eficácia do agrotóxico, além de assegurar o sigilo sobre os valores apresentados pelas marcas comerciais ⁵³.

Análise dos dados

Os gráficos e análises estatísticas foram realizados com o programa R (RStudio) versão 3.6.1 para Windows (<https://www.r-project.org/>). Inicialmente, para os dados de comercialização de agrotóxicos foram descartados todos os produtos que apareceram de forma descontínua durante o período de estudo, ou seja, agrotóxicos que foram comercializados em um ano, mas não em outros. Esta filtragem descartou em torno de 40% dos produtos, ou seja, dos mais de 90 agrotóxicos da listagem permaneceram 53. Dentre os remanescentes estão os com maiores volumes de venda o que sugere que os descartados não tem muito peso no total de vendas. Em seguida, foram gerados resultados com os valores absolutos em toneladas de IA para a venda de agrotóxicos de acordo com as classes de risco da OMS²⁷, a saber: Ia (extremamente tóxico), Ib (altamente tóxico), II (moderadamente

²⁵ O VP leva em consideração o faturamento anual de todos os estabelecimentos agropecuários dentro de cada UF em bilhões de reais ^{51,52}.

²⁶ Originalmente os dados foram retirados do sítio (<http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>), no entanto, em 2022 ocorreu uma migração do site do IBAMA para dentro do site do Governo Federal (gov.br). A partir daí os relatórios estão hospedados no site que aparece no texto.

²⁷ Foi feita uma tradução livre para os nomes das classes de agrotóxicos divulgadas pela OMS. Para os nomes originais da versão em língua inglesa ver⁴².

tóxico), III (pouco tóxico), U (improvável de causar dano agudo), O (obsoleto ou de uso descontinuado), FM (fumigante ou não classificado)^{42,54}, acrescentada da classe dos não encontrados (NE), ou seja, agrotóxicos que pertencem a lista do IBAMA, mas que não apareceram na classificação da OMS.

3 Resultados

No período entre 2009 e 2020, como mostra a Tabela 1 dos 53 agrotóxicos pesquisados, quase a metade (25 agrotóxicos ou 47%) está classificada na classe II (moderadamente tóxico). Dentre as classes mais tóxicas, apenas um (parationa-metílica) está na classe Ia e apenas dois (abamectina e metomil) estão na classe Ib. Em torno de 11% foram classificados como pouco tóxico (classe III). Somente um agrotóxico (fosfeto de alumínio) foi classificado como FM. Além disso, quase um quarto (13) foram identificados como improvável de causar dano agudo (classe U) e nenhum agrotóxico foi identificado na classe O (obsoleto). Por fim, foram encontrados cinco produtos (epoxiconazol, lactofem, msma, óleo vegetal e óleo mineral) que não figuram na lista da OMS, estes formam quase 10% do total de agrotóxicos pesquisados e foram designados a classe NE.

Tabela 1. Distribuição dos agrotóxicos por classes de acordo com a classificação da OMS.

Classificação da OMS	Toxicidade	Quantidade de produtos e porcentagem do total
Ia	Extremamente tóxico	1 (1,88%)
Ib	Altamente tóxico	2 (3,77%)
II	Moderadamente tóxico	25 (47,16%)
III	Pouco tóxico	6 (11,32%)
U	Improvável de causar dano agudo	13 (24,52%)
O	Obsoleto ou de uso descontinuado	0 (0%)
FM	Fumigante ou não classificado	1 (1,88%)
NE	Não encontrado da lista da OMS	5 (9,43%)
Total	-	53 (100%)

A Figura 1 apresenta as séries temporais de comercialização dos 53 agrotóxicos com as UFs (MT, SP, RS e PR) nas colunas e as classes nas linhas, também no período entre 2009 e 2020. Único produto classificado na classe Ia, a parationa-metílica foi proibida no Brasil a partir de 2016⁵⁵, quase sem vendas no Rio Grande do Sul e Paraná, ainda era utilizada no Mato Grosso e São Paulo, no entanto as vendas em ambos foram reduzindo até de fato zerarem a partir de 2017. O maior valor registrado de vendas de parationa-metílica ocorreu em São Paulo um

ano antes de sua proibição, algo próximo a 1.000 toneladas de IA. Ainda nos mais tóxicos, na classe Ib, o inseticida metomil é o mais utilizado chegando a quase 2.000 toneladas vendidas no Mato Grosso em 2014, com máximos valores de venda no Rio Grande do Sul e no Paraná também em 2014 e máximo valor de venda em São Paulo em 2013. Para os agrotóxicos da classe II, o herbicida 2,4-D apresentou um aumento considerável em seus valores consumidos. Durante o período de estudo, nas quatro UF's, suas vendas não menos que triplicaram, alcançando valores próximos de dez mil toneladas no Mato Grosso ao final da série temporal. Além do 2,4-D, o inseticida acefato, também com quase dez mil toneladas no Mato Grosso ao final da série (agrotóxico banido na União Européia⁵⁶), o inseticida clorpirifós, no Mato Grosso, Rio Grande do Sul e Paraná (agrotóxico banido nos EUA⁵⁷ e na Argentina⁵⁸) e o fungicida oxicleto de cobre (este especialmente em SP) seguem uma padrão semelhante de aumento nas vendas.

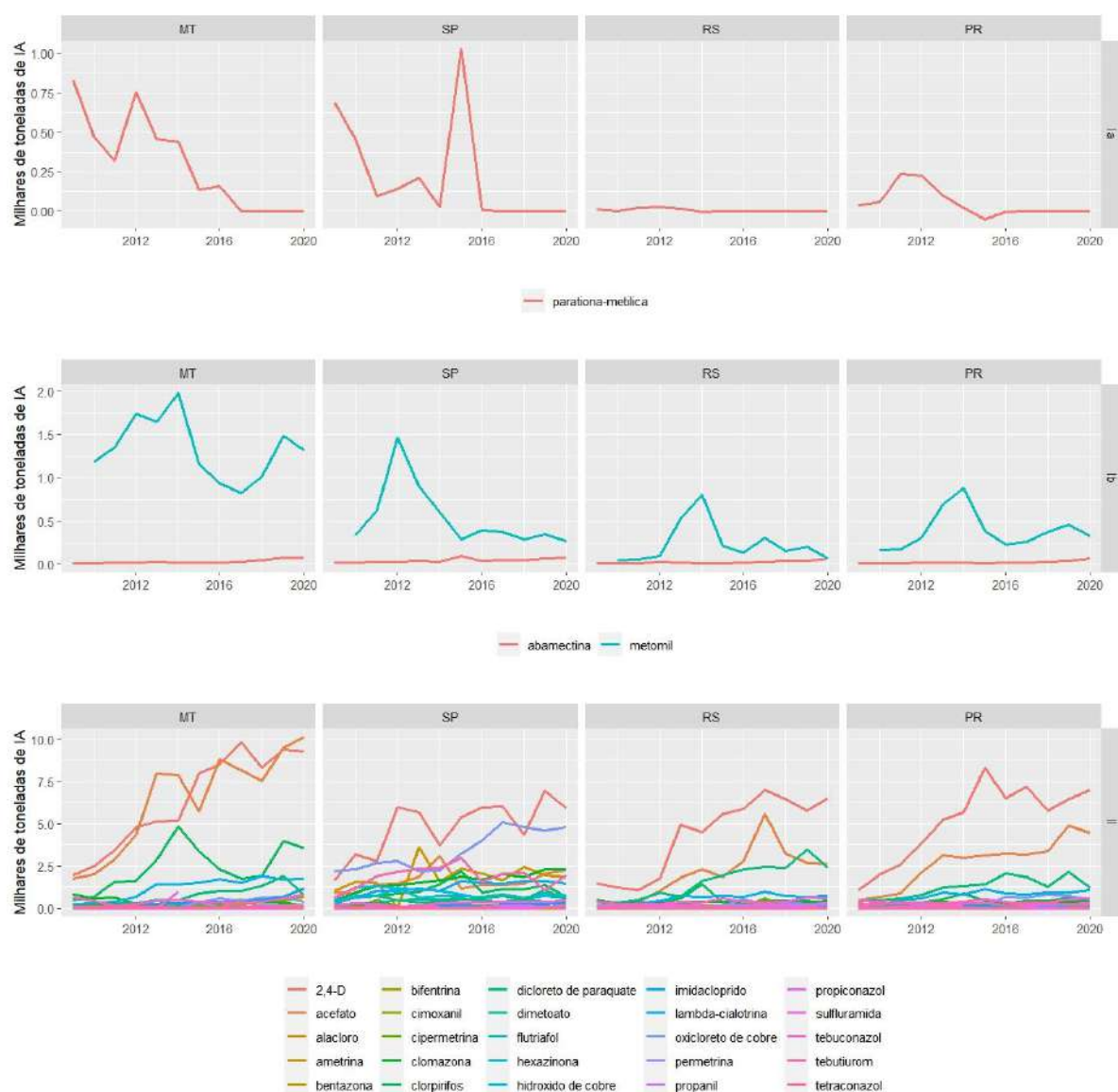


Figura 1. Venda de agrotóxicos para as classes Ia, Ib, II nos quatro os estados com maior VP (MT, SP, RS, PR) entre 2009 e 2020.

Na Figura 2, entre os agrotóxicos da classe III, está o mais vendido do Brasil^{53,59} e do mundo^{60,4,61,16,62,59}, o herbicida glifosato, que também durante o período de estudo viu suas vendas aumentarem nas quatro UFs e triplicar no campeão de vendas, o estado Mato Grosso, chegando a aproximadamente 40.000 toneladas em 2016. O glifosato tem um peso considerável nas vendas de agrotóxicos no país e nas UFs selecionadas não é diferente. Durante o período de estudo, as vendas nacionais de glifosato oscilaram entre 35% e 45% do total de todos os agrotóxicos vendidos no país. Em 2012, ocorreu um máximo na porcentagem de vendas tanto a nível nacional com nas UFs (exceto São Paulo), ademais de uma queda generalizada na porcentagem nos anos 2016 e 2017 (ver apêndice, Figura percentual de glifosato nas vendas totais). No Mato Grosso, ainda na classe III, destaque para o herbicida atrazina (utilizado apenas em casos essenciais na União Européia⁵⁶) que quase quintuplicou suas vendas (de 1.573,61 toneladas em 2009 para 7.548,72 toneladas em 2020) e o inseticida malationa (banido na União Europeia⁵⁶) que aumentou suas vendas em 20 vezes (de 295,72 toneladas em 2009 para 5.975,99 toneladas em 2020), esses resultados ficam distorcidos no gráfico devido ao imenso volume nas vendas do glifosato. Na classe U, improvável de causar dano agudo, destaque o fungicida mancozebe (autorizado na União Européia⁵⁶) que apresentou um aumento significativo nas quatro UFs, sendo o mais vendido da classe U no Mato Grosso, Rio Grande do Sul e Paraná em 2020. Voltamos a atenção para o crescimento exponencial nas vendas em Mato Grosso (de 1,58 toneladas em 2009 para 14.780,81 toneladas em 2020) e no Rio Grande do Sul (de 664,04 toneladas para 12.453,67 toneladas em 2019 com queda nos resultados de 2020). Ainda em Mato Grosso, as vendas do fungicida clorotalonil aumentaram mais de 176 vezes (de 27,80 toneladas em 2009 para 4.897,56 toneladas em 2020) e do fungicida carbendazim quadruplicaram (de 995,04 toneladas em 2009 para 39.878,52 toneladas em 2020). Acima do mancozebe, São Paulo apresenta o enxofre (que pode ser utilizado como fertilizante e fungicida) como o mais vendido (com aumento consecutivo nas vendas entre 2015 e 2019), seguido do clorotalonil (autorizado na União Européia⁵⁶) como os mais vendidos. A classe FM, daqueles que aparecem na lista, mas não foram classificados por algum motivo, apresenta apenas o inseticida fosfeto de alumínio. De menor utilização em Mato Grosso do que nos outros estados, apresenta um volume de vendas relativamente pequeno e constante, exceto pelo resultado de São Paulo em 2019 (198,60 toneladas).

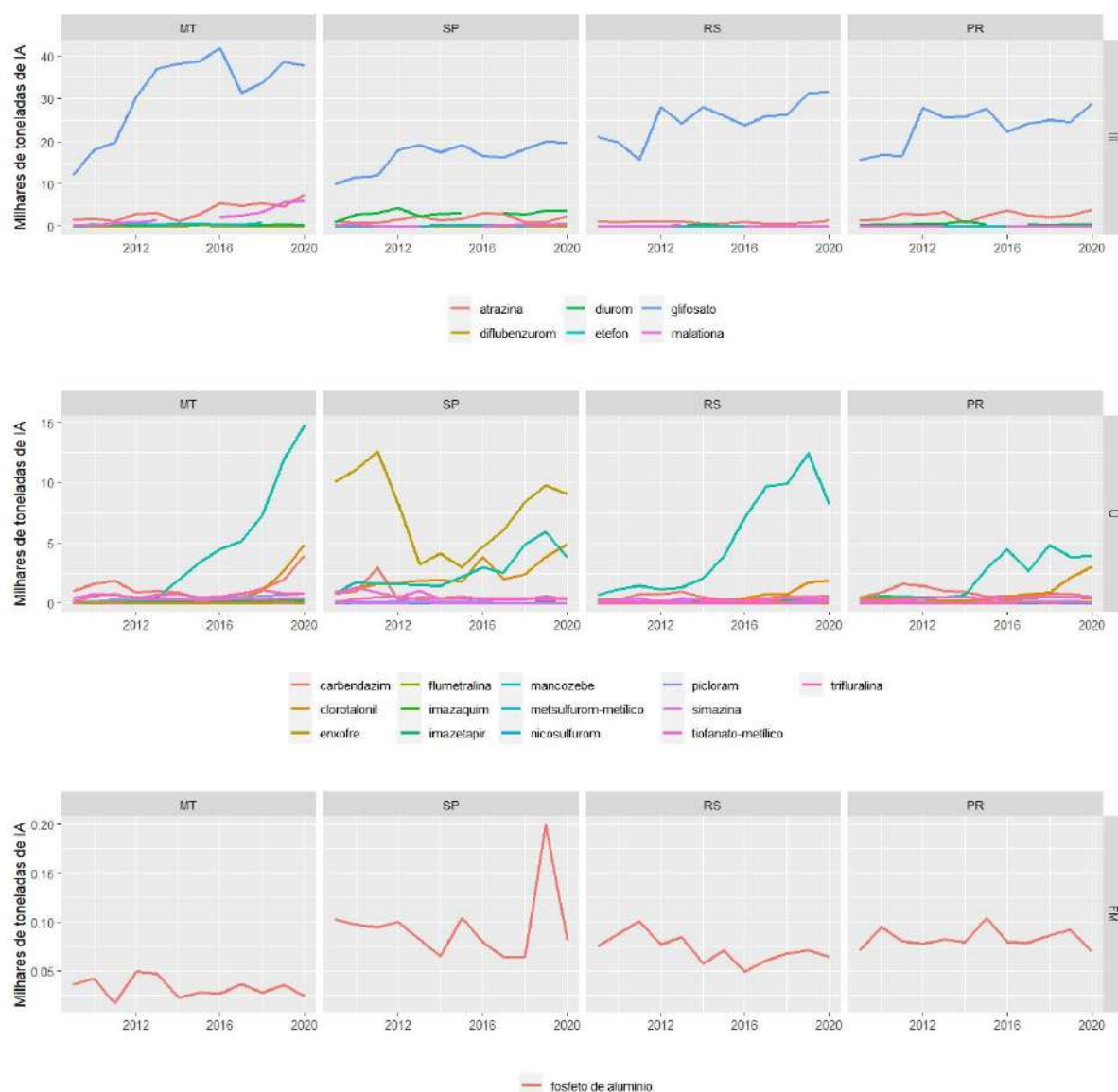


Figura 2. Venda de agrotóxicos para as classes III, U, FM nos quatro os estados com maior VP (MT, SP, RS, PR) entre 2009 e 2020.

Por fim, nas quatro UF's como apresenta a Figura 3, todos os agrotóxicos da classe NE apresentam redução em suas vendas. Os mais vendidos: óleo mineral e óleo vegetal exibiram quedas significativas principalmente no estado de São Paulo.

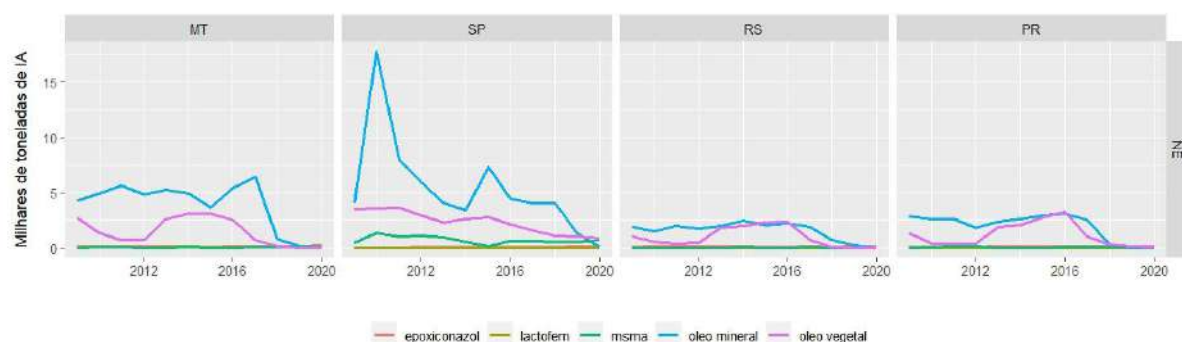


Figura 3. Venda de agrotóxicos para a classe NE nos quatro os estados com maior VP (MT, SP, RS, PR) entre 2009 e 2020.

4 Discussão

De acordo com os dados do IBAMA, percebemos um aumento no consumo de agrotóxicos quando olhamos o Brasil como um todo, passando de 306.785 toneladas em 2008 para mais de 683.349 toneladas em 2020. Além disso, quando dividimos o país em regiões, também constatamos um aumento em todas as cinco. A tabela 1 nos mostra que a classe II (moderadamente tóxico) é a que possui mais representantes entre os agrotóxicos consumidos no Brasil, mas a classe III (pouco tóxico) tem o mais vendido de todos, o glifosato, que até 2018 era membro da classe II, mas foi “rebaixado” em 2019 por uma reclassificação feita pela ANVISA para os agrotóxicos comercializados no país⁵⁴. Como ponto positivo podemos citar que, a parationa-metílica, o único produto da classe Ia (extremamente tóxico) que é relacionado com diversas doenças e está banido das lavouras nos Estados Unidos⁶³ finalmente foi proibido por aqui⁵⁵. Este inseticida teve suas vendas praticamente que zeradas nos estados produtores logo a seguir do período de sua proibição, entretanto chama atenção o fato de que em São Paulo, o valor mais alto das vendas, tenha ocorrido em 2015, um ano antes da publicação da resolução que proibiu o produto. Mesmo cuidado não parece ter ocorrido com o metomil, o mais vendido da classe Ib, pois este ainda tem altos valores de vendas principalmente em MT (acima de mil toneladas). Outro ponto positivo, não foi encontrado, de acordo com a lista da OMS, nenhum agrotóxico da classe obsoleto (obsoleto) o que sugere que produtos mais antigos outrora utilizados não figuram mais entre os comercializados no Brasil.

A escala das vendas dos agrotóxicos das classes Ia e Ib não podem ser comparada com a escala das vendas dos produtos das classes II (moderadamente tóxico) e III (pouco tóxico). As vendas do inseticida acefato, dos herbicidas 2,4-D e glifosato aumentaram consideravelmente durante o período de estudo. De modo geral, estes três produtos somados ao fungicida mancozebe, ao enxofre e ao óleo mineral formam o grupo dos principais produtos vendidos do país, quando falamos de quantidade de toneladas vendidas, o está em conformidade com o que o IBAMA

apresenta em seu site⁵³. Em especial, o uso do glifosato está aumentando em todas as 9 UFs com maior valor de produção, não somente nas quatro mostradas na Figura 2 (ver apêndice). Já o percentual de glifosato vendido comparado com o total de agrotóxicos vendidos a nível nacional apresenta certa estabilidade em torno de 40%, apesar deste mesmo percentual nos quatro maiores produtores (exceto em São Paulo) apresentar tendência de queda (ver apêndice). O que pode indicar uma mudança no perfil do consumo de agrotóxicos nos maiores produtores.

Nos produtos da classe U (improvável de causar dano agudo) nas quatro UFs temos aumento no uso do mancozebe, e um aumento quase que exponencial no Mato Grosso e no Rio Grande do Sul. Este fungicida é comumente utilizado em lavouras de soja para o controle da ferrugem⁶⁴ (MT, PR e RS foram os três maiores produtores de soja do Brasil em 2023⁶⁵) o que poderia estar relacionado com este crescimento durante o período de estudo.

Por fim, os agrotóxicos da classe NE estão reduzindo o volume de vendas (especialmente o óleo mineral e óleo vegetal) o que indica algo de positivo, levando em consideração que estes são os que não aparecem nem na classificação da OMS. Em contrapartida, em todas as classes temos registros de agrotóxicos sem UF, ou seja, aqueles que foram comercializados mas não sabemos seu destino, isto figura como um ponto negativo, pois estes podem subestimar/superestimar os resultados de uma UF (ver apêndice).

5 Considerações Finais

Os dados nos apontam um aumento na comercialização de agrotóxicos no período de estudo tanto nacionalmente como nas UFs individualmente. Alguns agrotóxicos figuram entre os mais vendidos durante toda a série: glifosato, 2,4-D, acefato e mancozebe principalmente. Todavia, o perfil de consumo sugere uma mudança no tipo de agrotóxico comercializado. O percentual do total que o glifosato ocupava no começo da série temporal não é mais o mesmo, embora em números absolutos seu consumo tenha aumentado (de 118.484,57 toneladas em 2009 para 246.017,44 toneladas em 2020, vide Apêndice). Após a reclassificação feita pela Anvisa em 2019, muitos agrotóxicos mudaram de categoria, o glifosato foi um destes (deixou a categoria II para a categoria III). Nestas duas categorias estão a maior tonelagem de agrotóxicos consumidos no país. Apesar de não ser o objetivo deste estudo, perguntamo-nos se esta reclassificação alterou a classe de outros produtos. Se isto ocorreu, quais seriam os motivos? Teríamos uma tendência de “rebaixamento” da toxicidade dos agrotóxicos (como no caso do glifosato) ou o inverso? A base de dados do IBAMA vai até o nível das UFs, nesta base não existem dados para os municípios, o que poderia gerar um perfil ainda mais

aprofundado do consumo de agrotóxicos no Brasil e isso pode ser entendido como uma limitação do estudo. Dados municipais podem ser encontrados no Censos Agropecuários⁶⁶ (último realizado em 2017⁶⁷) do IBGE, entretanto tais pesquisas não são realizadas anualmente, o que geraria séries temporais com intervalos muito grandes. Para estudos futuros, estes resultados poderiam servir de complementares para os dados do IBAMA. Ainda falando de possibilidades futuras, perguntas como: o tipo de lavoura plantada tem influência no tipo de agrotóxico consumido? Infelizmente, esta informação também não consta nos dados do IBAMA. Outras perguntas como: qual produto é mais adequado para cada lavoura? A sazonalidade e a região da plantação tem influência no consumo dos agrotóxicos? Também podem guiar e gerar trabalhos futuros que possam melhorar o perfil do consumo de agrotóxicos no Brasil.

Por fim, independente do volume de agrotóxicos consumidos anualmente, em todos os anos temos valores bem altos, pensemos que com os valores totais de 2020 (somente de glifosato) e com os resultados demográficos do censo de 2022⁶⁸ temos em média mais de 1kg de glifosato por pessoa somente neste ano (obviamente, este valor não é igual para todos, mas demonstra a dimensão da utilização), se consideramos os outros produtos está conta fica acima de 3kg de agrotóxico por pessoa. O problema da produção segura de alimentos é um problema muito antigo que acompanha a humanidade em todo o seu desenvolvimento. Com a explosão demográfica após a Segunda Guerra Mundial este problema agravou-se ainda mais. A resposta atual e predominante é este modelo de produção que depende de plantas geneticamente modificadas e resistentes à agrotóxicos que aumentou consideravelmente a produção, mas trouxe consigo problemas ambientais e de saúde na mesma proporção. Já deveríamos estar pensando na redução do consumo, contudo ainda estamos quebrando recordes de vendas ano após ano. Temos avanços, como proibir aqui no Brasil o uso de produtos proibidos internacionalmente, todavia estas são soluções menos gerais. Em grande escala, uma alternativa seria um modelo que utiliza-se uma quantidade reduzida de produtos químicos, ou quem sabe, um modelo que não utiliza-se nenhum agrotóxico e que ao mesmo tempo pudesse produzir o suficiente para alimentar a população em crescimento além de melhorar as condições sociais tanto de quem produz quanto de quem consome⁶⁹⁻⁷³. A agroecologia^{74,75,25,76-79} surge como uma possibilidade a ser conhecida e divulgada, para isto necessitamos de uma mudança

radical no pensamento atual sobre como produzimos, transportamos e em último caso nos alimentamos. Analisar a dificuldade para este tipo de mudança está além do objetivo deste trabalho, no entanto, uma redução no consumo de agrotóxicos fica cada vez mais evidente a luz de um planeta afetado por mudanças climáticas, com diversas áreas contaminadas por produtos químicos e que vive atualmente o que podemos chamamos de Antropoceno^{80–85}, em nosso caso Antropoceno brasileiro.

6 Referências

1. Peres F, Moreira JC, organizadores. E veneno ou é remédio? agrotóxicos, saúde e ambiente. Rio de Janeiro, RJ: Editora Fiocruz; 2003. 384 p.
2. Braibante MEF, Zappe JA. A química dos agrotóxicos. Química nova na escola. 2012;34(1):10–5.
3. Barbosa LC de A. Os pesticidas, o homem e o meio ambiente. Viçosa: UFV; 2004.
4. Duke SO, Powles SB. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. Pest Management Science: formerly Pesticide Science. 2008;64(4):319–25.
5. Dhas S, Srivastava M. An Assessment of Carbaryl Residues on Brinjal Crop in an Agricultural Field in Bikaner, Rajasthan (India). Asian Journal of Agricultural Sciences. 10 de janeiro de 2010;2(1):15-17,.
6. Borsoi A, Santos PRR dos, Taffarel LE, Gonçalves Júnior AC. Agrotóxicos: histórico, atualidades e meio ambiente. Acta Iguazu. 2014;3(1):86–100.
7. Singh Z. Toxic Effects of Organochlorine Pesticides: A Review. AJBIO. 2016;4(3):11.
8. Sidhu GK, Singh S, Kumar V, Dhanjal DS, Datta S, Singh J. Toxicity, monitoring and biodegradation of organophosphate pesticides: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 3 de julho de 2019;49(13):1135–87.
9. D'amato C, Torres JP, Malm O. DDT (dicloro difenil tricloroetano): toxicidade e contaminação ambiental-uma revisão. Química Nova. 2002;25(6a):995–1002.
10. Flores AV, Ribeiro JN, Neves AA, Queiroz ELR de. Organoclorados: um problema de saúde pública. Ambiente & Sociedade. 2004;7(2):111–24.
11. Branco SM. Natureza e Agroquímicos. 3ª. Moderna; 2013. 80 p.
12. Serra LS, Mendes MRF, Soares MVA, Monteiro IP. Revolução Verde: reflexões acerca da questão dos agrotóxicos. Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB. 2016;1(4):2–25.
13. Daubenmire PL. Genetically Modified Organisms as a Food Source: History, Controversy, and Hope. Em: Chemistry's Role in Food Production and Sustainability: Past and Present. ACS Publications; 2019. p. 203–9.

14. Swanson NL, Leu A, Abrahamson J, Wallet B. Genetically engineered crops, glyphosate and the deterioration of health in the United States of America. *Journal of Organic Systems*. 2014;9(2):6–37.
15. Benbrook CM. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*. 2016;28(1):1–15.
16. Bain C, Selfa T, Dandachi T, Velardi S. ‘Superweeds’ or ‘survivors’? Framing the problem of glyphosate resistant weeds and genetically engineered crops. *Journal of rural studies*. 2017;51:211–21.
17. Brasil. Presidência da República [Internet]. Diário Oficial da União, Lei nº 10.216, de 6 de abril de 2001. abr 9, 2001 p. 2. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10216.htm
18. Almeida VES de, Friedrich K, Tygel AF, Melgarejo L, Carneiro FF. Uso de sementes geneticamente modificadas e agrotóxicos no Brasil: cultivando perigos. *Ciência & Saúde Coletiva*. 2017;22:3333–9.
19. Evenson RE, Gollin D. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *science*. 2003;300(5620):758–62.
20. Pingali PL. Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2012;109(31):12302–8.
21. Machado LCP, Machado Filho LCP. *Dialética da agroecologia*. 1a edição. São Paulo: Editora Expressão Popular; 2014. 356 p.
22. Leite RM. Resenha: *Dialética da agroecologia*. *Revista Geonordeste*. 2016;1.
23. Ramos RF, Andrioli AI, Betemps DL. Agrotóxicos e transgênicos: uma crítica popular. *Extensão em Foco*. 2018;(17).
24. Wik M, Pingali P, Brocai S. Global agricultural performance: past trends and future prospects. 2008;
25. Hatt S, Artru S, Brédart D, Lassois L, Francis F, Haubruge É, *et al.* Towards sustainable food systems: the concept of agroecology and how it questions current research practices. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. 2016;20(Special issue 1):215–24.
26. da Costa MBB, Souza M, Júnior VM, Comin JJ, Lovato PE. Agroecology development in Brazil between 1970 and 2015. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2017;41(3–4):276–95.
27. Castelo TB, Adami M, Almeida CA, de Almeida OT. Governos e mudanças nas políticas de combate ao desmatamento na Amazônia. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*. 2018;28:0125–48.
28. Carson R. *Primavera Silenciosa*. Melhoramentos; 1964.
29. Jardim ICSF, Andrade J de A, Queiroz SC do N de. Resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global-Um enfoque às maçãs. *Química Nova*. 2009;32(4):996–1012.
30. Bonzi RS. Meio século de Primavera silenciosa: um livro que mudou o mundo. *Desenvolvimento e Meio ambiente*. 2013;28.

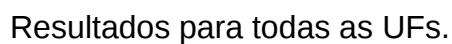
31. Carvalho MMX de, Nodari ES, Nodari RO. “Defensivos” ou “agrotóxicos”? História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*. 2017;24(1):75–91.
32. Lutzenberger JA. *Fim do futuro?: manifesto ecológico brasileiro*. Editora Movimento; 1976. 114 p.
33. PEREIRA EM. *Fim do futuro? O tempo no manifesto ecológico brasileiro de José Lutzenberger*. XI Encontro Estadual de História. 2012;
34. Primavesi A. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. NBL Editora; 2002.
35. Neto FG. *Questão agrária e ecologia crítica da moderna agricultura*. Brasiliense; 1985. 156 p.
36. Guazzelli MJ. Brasil: O maior consumidor de agrotóxicos agrícolas. Entrevista especial com Maria José Guazzelli | Biodiversidad en América Latina [Internet]. 2009 [citado 26 de abril de 2021]. Disponível em: https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Brasil_O_maior_consumidor_de_agrotoxicos_agricolas._Entrevista_especial_com_Maria_Jose_Guazzelli
37. Nasrala Neto E, Lacaz FA de C, Pignati WA. Vigilância em saúde e agronegócio: os impactos dos agrotóxicos na saúde e no ambiente. *Perigo à vista! Ciência & Saúde Coletiva*. 2014;19:4709–18.
38. Carneiro FF. Dossiê Abrasco: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde [Internet]. EPSJV / Expressão Popular; 2015 [citado 26 de abril de 2021]. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/26221>
39. AMAZONAS J, SILVEIRA G, RODRIGUES R, ALMEIDA V, SARPA M, FRIEDRICH K. Agrotóxicos utilizados no Brasil e proibidos em outros países. *Cadernos de Agroecologia*. 2018;13(1).
40. Silva, Fay EF. *Agrotóxicos e ambiente*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; 2004.
41. Baird C. *Chemistry in your life*. 2nd ed. New York: W.H. Freeman; 2006. 1 p.
42. WHO. The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and guidelines to classification, 2019 edition [Internet]. 2019 [citado 12 de janeiro de 2022]. Disponível em: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240005662>
43. OPAS. *MANUAL DE VIGILÂNCIA DA SAÚDE DE POPULAÇÕES EXPOSTAS A AGROTOXICOS* [Internet]. Brasília: OPAS/OMS; 1996. Disponível em: *MANUAL DE VIGILÂNCIA DA SAÚDE DE POPULAÇÕES ...* <http://bvsmms.saude.gov.br/publicacoes/livro2>
44. Brasil. BVS - Ministério da Saúde - Dicas em Saúde [Internet]. 2006 [citado 27 de abril de 2021]. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/dicas/108agrotox.html>
45. de Lara SS, Pignati WA, Pignatti MG, da Costa Leão LH, Machado JMH. A agricultura do agronegócio e sua relação com a intoxicação aguda por agrotóxicos no Brasil. *Hygeia-Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*. 2019;15(32):1–19.
46. Belpomme D, Irigaray P, Hardell L, Clapp R, Montagnier L, Epstein S, et al. The multitude and diversity of environmental carcinogens. *Environmental research*. 2007;105(3):414–29.
47. PIGNATI W, Maciel RHMO, Rigotto RM. *Saúde do trabalhador*. Em: *Epidemiologia & Saúde*. Rio de Janeiro, RJ: Med Book; 2013. p. 355–81.

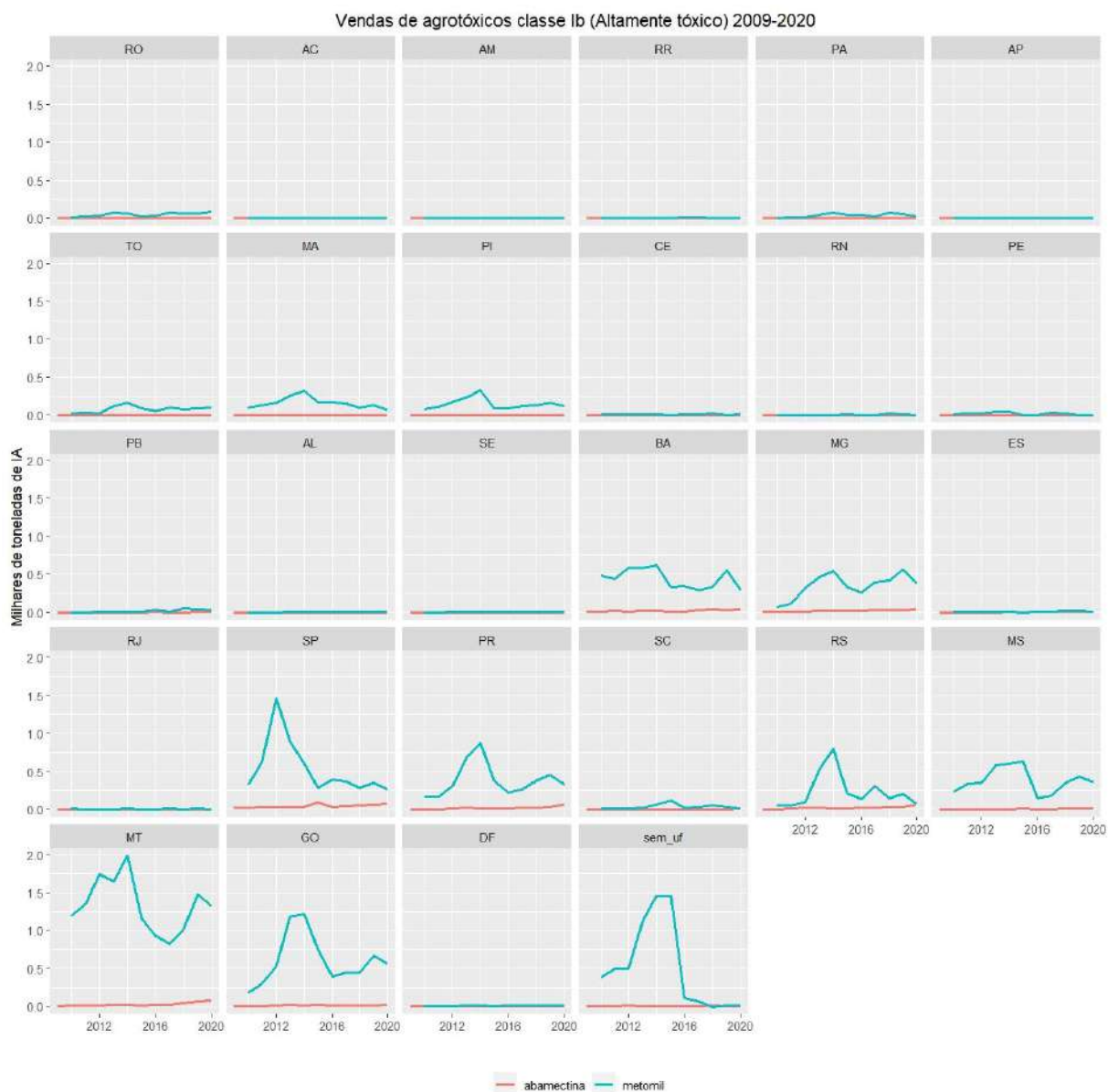
48. Oliveira NP, Moi GP, Atanaka-Santos M, Silva AMC, Pignati WA. Malformações congênitas em municípios de grande utilização de agrotóxicos em Mato Grosso, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*. 2014;19:4123–30.
49. Ueker ME, Silva VM, Moi GP, Pignati WA, Mattos IE, Silva AMC. Parenteral exposure to pesticides and occurrence of congenital malformations: hospital-based case–control study. *BMC pediatrics*. 2016;16(1):1–7.
50. Vazquez MA, Maturano E, Etchegoyen A, Difilippo FS, Maclean B. Asociación entre cáncer y exposición ambiental a glifosato. *International journal of clinical medicine*. 2017;8(2):73–85.
51. MAPA. Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP) [Internet]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2017 [citado 24 de agosto de 2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>
52. MAPA. Municípios com alta produção agrícola impactam PIB local, mostra estudo do Mapa [Internet]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2020 [citado 19 de julho de 2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/municipios-com-maior-valor-da-producao-agricola>
53. IBAMA. Relatórios de comercialização de agrotóxicos [Internet]. 2016 [citado 27 de abril de 2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>
54. ANVISA. Publicada reclassificação toxicológica de agrotóxicos — Português (Brasil) [Internet]. 2019 [citado 25 de janeiro de 2022]. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2019/publicada-reclassificacao-toxicologica-de-agrotoxicos>
55. ANVISA. Proibido uso de agrotóxicos com Parationa Metílica [Internet]. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa. 2016 [citado 25 de janeiro de 2022]. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2016/proibido-uso-de-agrotoxicos-com-parationa-metilica>
56. PAN EUROPE. Banned and authorised [Internet]. 2006 [citado 27 de janeiro de 2022]. Disponível em: <https://www.pan-europe.info/old/Archive/About%20pesticides/Banned%20and%20authorised.htm>
57. US EPA O. Chlorpyrifos [Internet]. 2014 [citado 27 de janeiro de 2022]. Disponível em: <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/chlorpyrifos>
58. INTA. Eliminación de Clorpirifós en Argentina | Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [Internet]. 2021 [citado 27 de janeiro de 2022]. Disponível em: <https://inta.gob.ar/noticias/eliminacion-de-clorpirifos-en-argentina>
59. Teixeira DE, Paula RLG, Napolitano HB. Legislação e Normatização para o Glifosato no Brasil. *Revista Processos Químicos*. 2019;13(25):105–16.
60. Service RF. A growing threat down on the farm. *Science*. 2007;316(5828):1114–7.
61. Bonny S. Genetically modified herbicide-tolerant crops, weeds, and herbicides: overview and impact. *Environmental management*. 2016;57(1):31–48.
62. Scarrow R. Glyphosate resistance: Of superweeds and survivors. *Nature plants*. 2017;3(6):1–1.

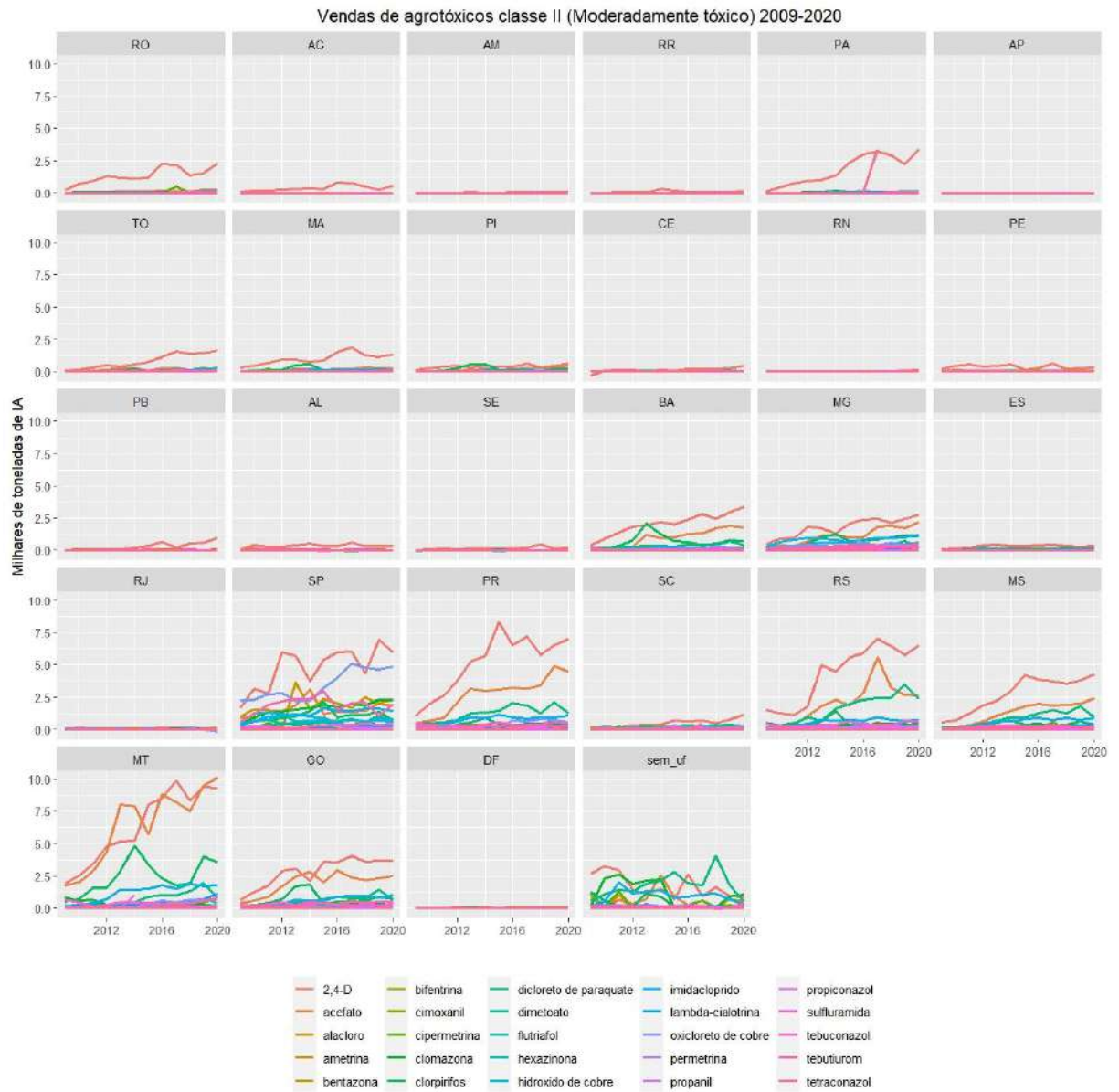
63. Garcia S, Abu-Qare A, Meeker-O'Connell W, Borton A, Abou-Donia M. Methyl Parathion: A Review of Health Effects. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*. janeiro de 2003;6(2):185–210.
64. Silva LHCPD, Campos HD, Silva JRC, Reis EM. Control of Asian soybean rust with mancozeb, a multi-site fungicide. *Summa phytopathol*. março de 2015;41(1):64–7.
65. Embrapa Soja. Soja em números (safra 2022/23) [Internet]. 2023 [citado 30 de março de 2024]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>
66. IBGE. Censo Agropecuário [Internet]. 2024 [citado 30 de março de 2024]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuário.html>
67. IBGE. Censo Agropecuário 2017 [Internet]. Censo Agro 2017. 2024 [citado 30 de março de 2024]. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>
68. Ministério do Planejamento e Orçamento. De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões [Internet]. 2023 [citado 29 de março de 2024]. Disponível em: <https://www.gov.br/planejamento/pt-br/assuntos/noticias/2023/junho/de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes>
69. Van Der Ploeg JD, Barjolle D, Bruil J, Brunori G, Costa Madureira LM, Dessein J, *et al*. The economic potential of agroecology: Empirical evidence from Europe. *Journal of Rural Studies*. outubro de 2019;71:46–61.
70. Sampson D. Productivism, Agroecology, and the Challenge of Feeding the World. *Gastronomica*. 1º de novembro de 2018;18(4):41–53.
71. Altieri MA, Rosset P, Thrupp LA. THE POTENTIAL OF AGROECOLOGY TO COMBAT HUNGER IN THE DEVELOPING WORLD. *AgEcon Search*. 2020;55.
72. Stroparo TR. Segurança alimentar e desenvolvimento sustentável sob a perspectiva da agroecologia. *Europub Journal of Health Research*. novembro de 2022;3(4):879–84.
73. Borsari B. De los agronegocios a la agroecología y la transición hacia un sistema alimentario sostenible en Panamá. *IPC USMA*. 1º de janeiro de 2024;12(1):48–62.
74. Altieri MA. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Em: *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes*. Elsevier; 1999. p. 19–31.
75. Leff E. Agroecologia e saber ambiental. *Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável*. 2002;3(1):36–51.
76. Norder LA, Lamine C, Bellon S, Brandenburg A. Agroecologia: polissemia, pluralismo e controvérsias. *Ambiente & Sociedade*. 2016;19(3):1–20.
77. Ching LL. Agroecology for sustainable food systems. *Environment and Development series*. 2018;19.
78. Matias MI de AS, da Cruz IS, Gonzaga MIS, de Freitas RMO, Carriço M das GO, dos Santos MB, *et al*. Núcleo de Estudos em Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável do Baixo Sul. *Brazilian Journal of Development*. 2020;6(7):53615–26.
79. Saragoso TMR, Machado LG, Garcia EGM. Agroecologia: uma ciência interdisciplinar. *Revista de Pesquisa Interdisciplinar*. 2019;3(1).

80. Myers SS. Planetary health: protecting human health on a rapidly changing planet. *The Lancet*. dezembro de 2017;390(10114):2860–8.
81. Steffen W, Broadgate W, Deutsch L, Gaffney O, Ludwig C. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*. abril de 2015;2(1):81–98.
82. Silva CM, ARBILLA G. Antropoceno: os desafios de um novo mundo. *Revista Virtual de Química*. 2018;10(6):1619–47.
83. Alves JED. Antropoceno: a Era do colapso ambiental | CEE Fiocruz [Internet]. CEE - Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz. 2020 [citado 24 de agosto de 2021]. Disponível em: <https://cee.fiocruz.br/?q=node/1106>
84. Zalasiewicz J, Waters C, Williams M. The anthropocene. Em: *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier; 2020. p. 1257–80.
85. Artaxo P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? *Revista Usp*. 2014;(103):13–24.

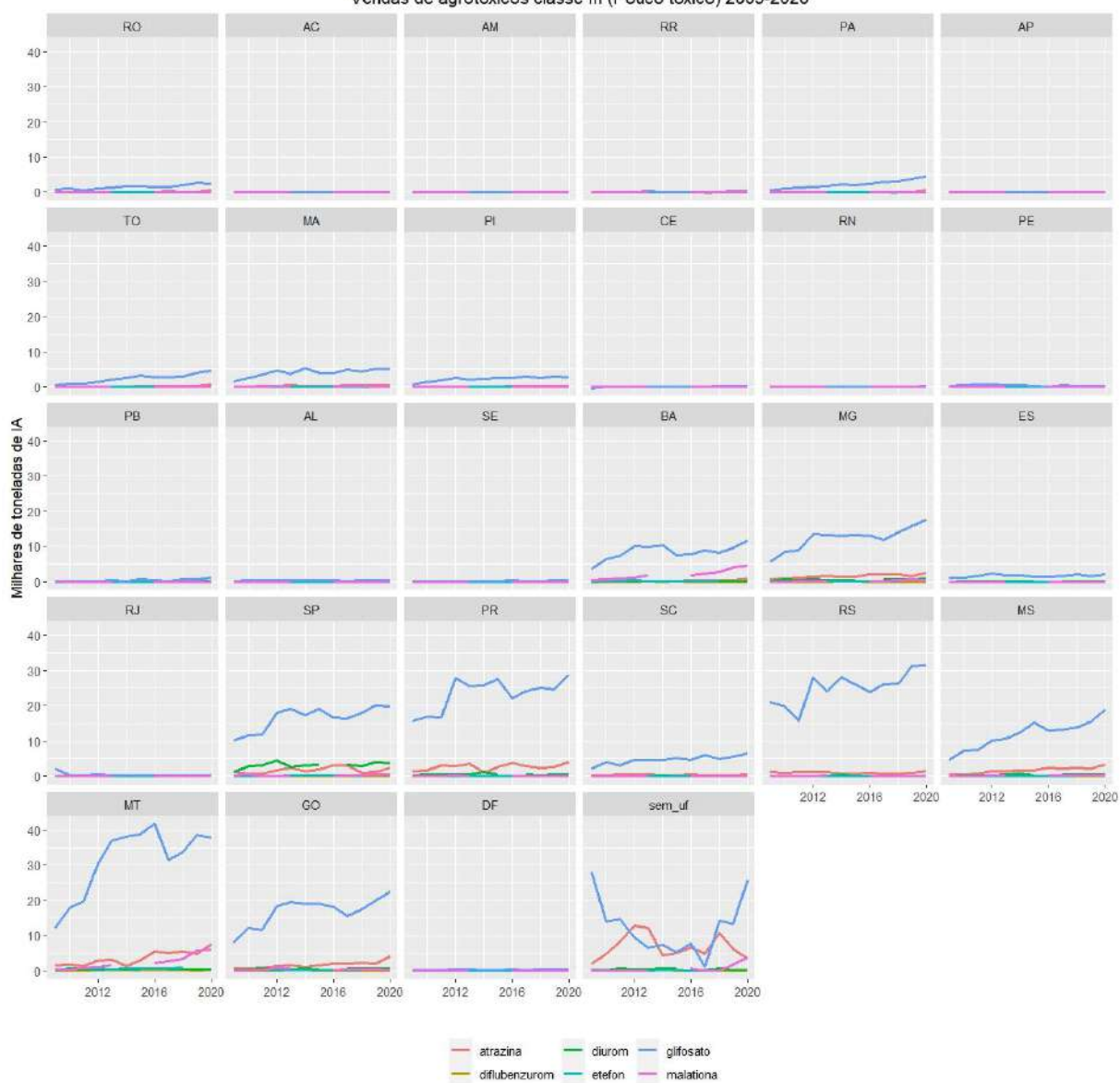
7 Apêndice

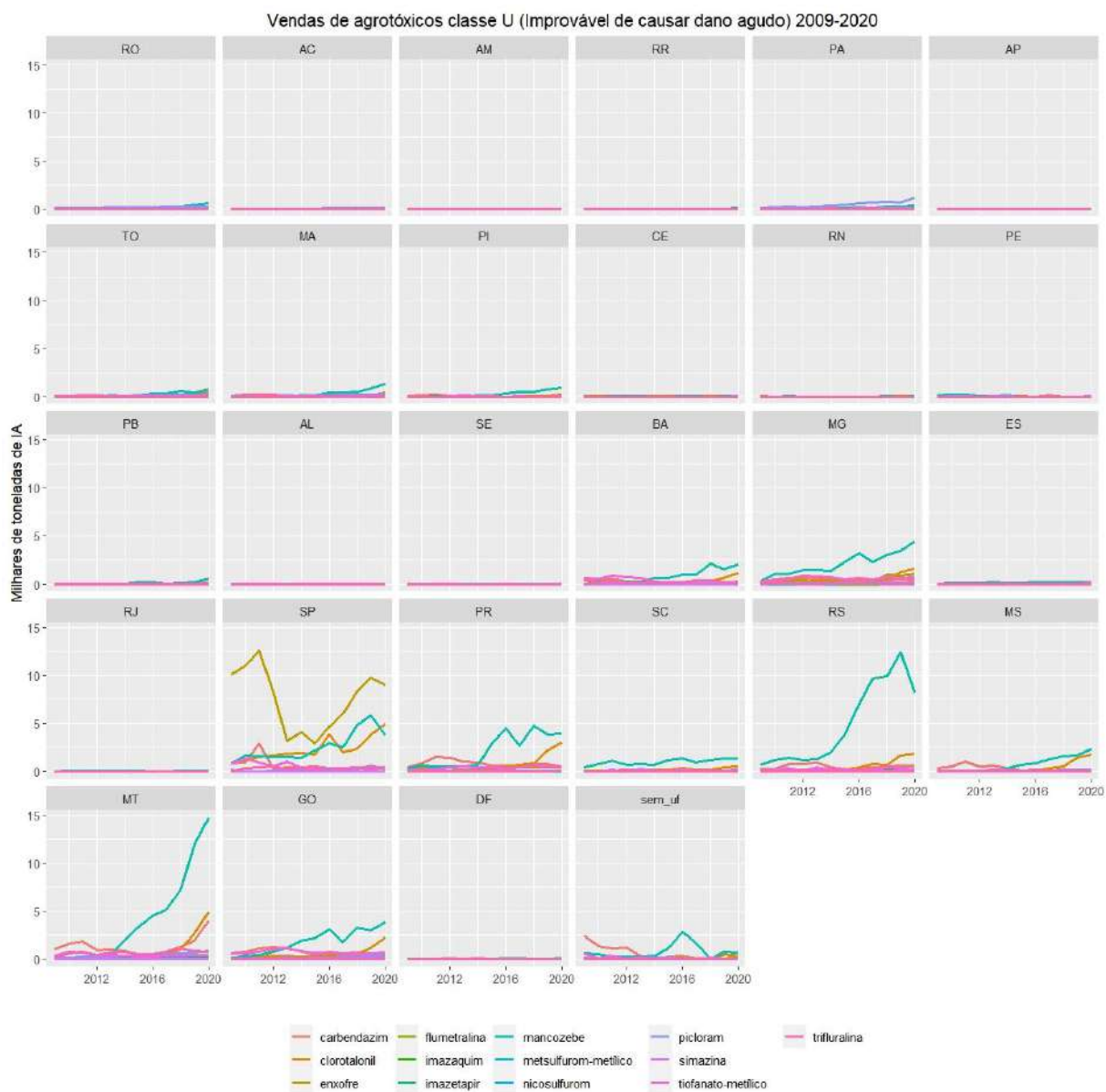


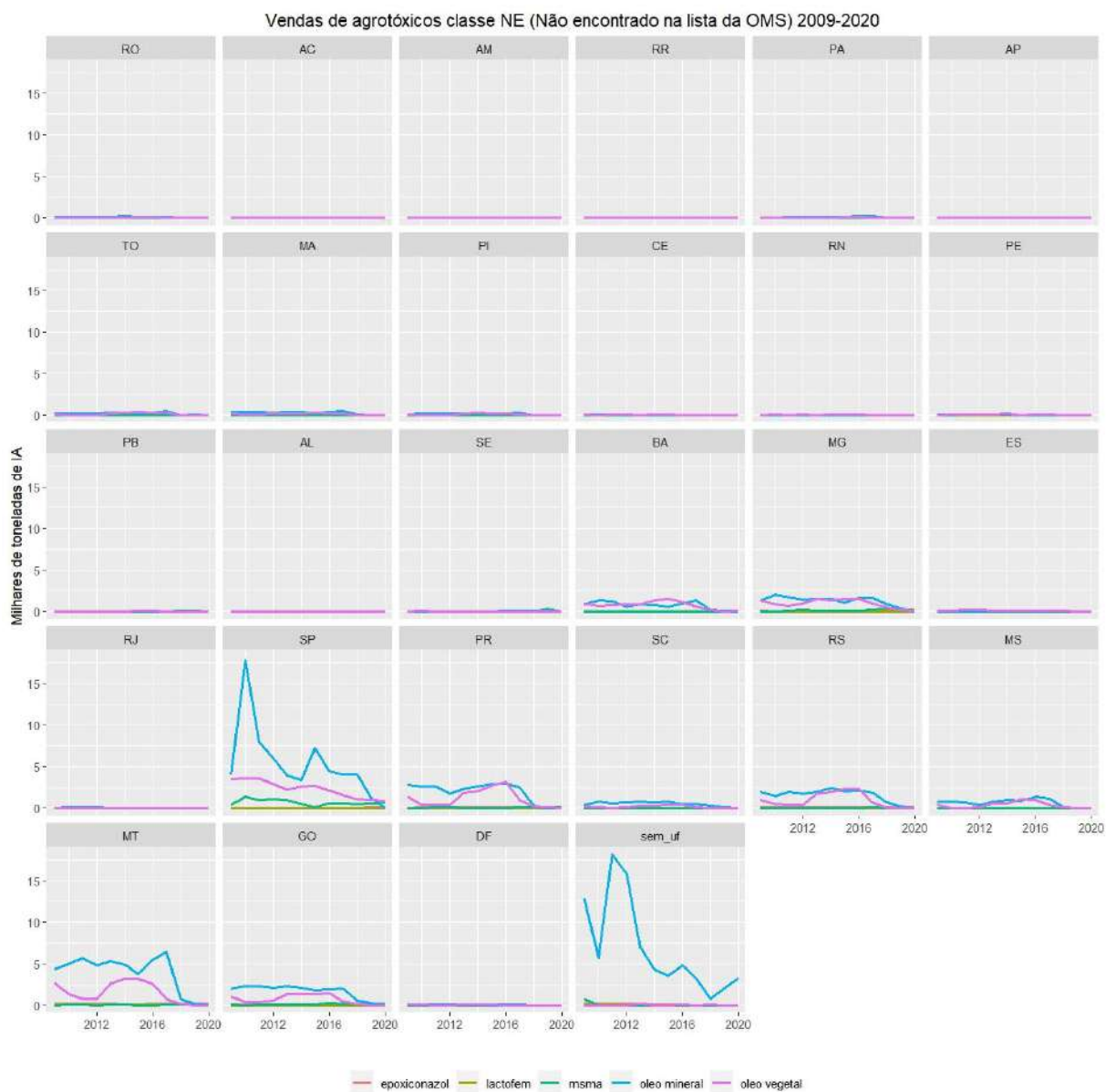




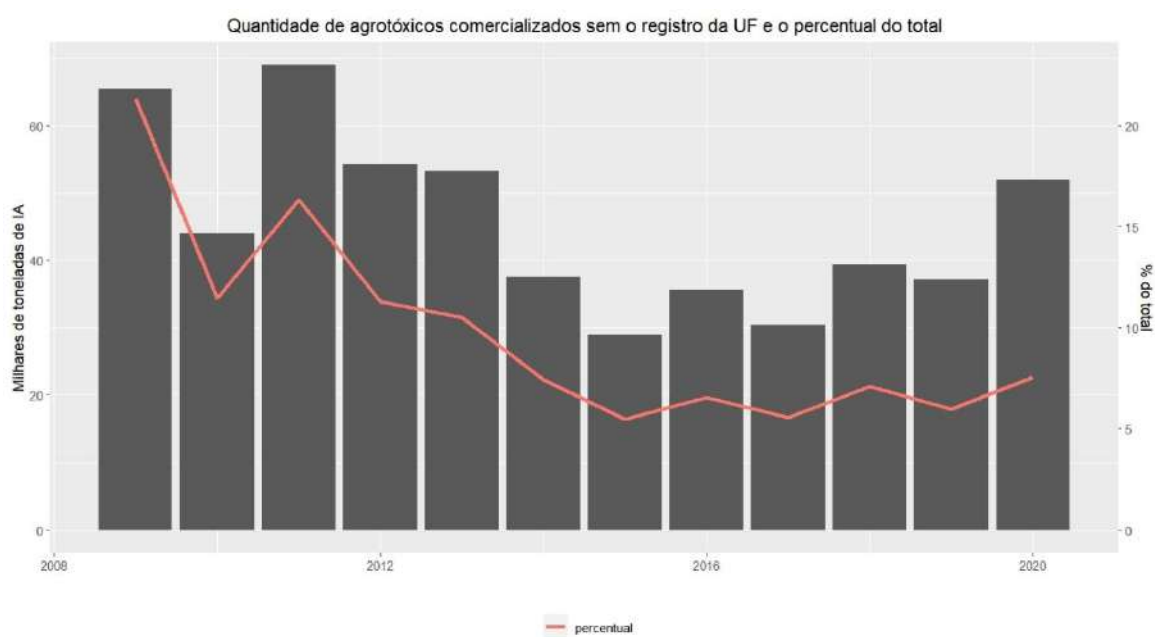
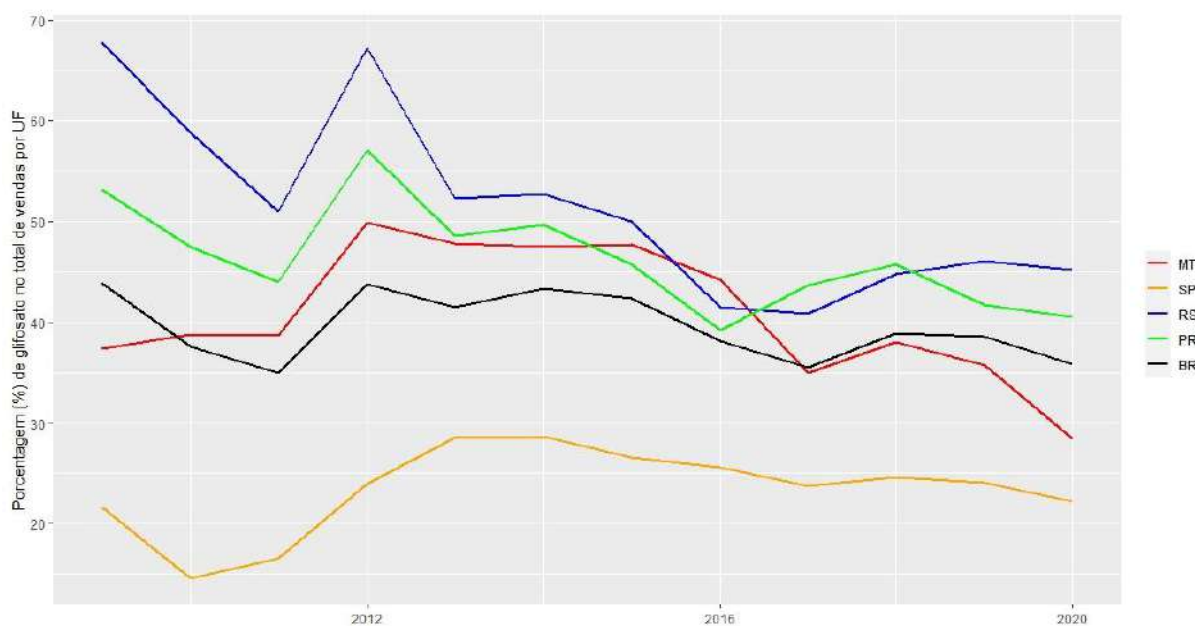
Vendas de agrotóxicos classe III (Pouco tóxico) 2009-2020







Porcentagem de glifosato no total de agrotóxicos comercializados entre os quatro maiores produtores no período 2008 e 2020.



5.3 ARTIGO 3

Intoxicações exógenas no Brasil: tendências segundo o consumo de agrotóxicos no período pré-pandemia da Covid-19Thiago Felipe Melo de Lima¹Armando Meyer¹Alexandre dos Santos Brito¹

Instituto de Estudos em Saúde Coletiva, Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Institute for Studies in Public Health, Health Sciences Center, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

Resumo

O Brasil é um dos maiores produtores de commodities agrícolas do mundo e ao mesmo tempo, um de seus maiores consumidores de agrotóxicos. Na mesma proporção que geramos riqueza também ameaçamos o meio ambiente e a saúde da população com exposições de curto, médio e longo prazo que afetam especialmente os trabalhadores e residentes próximos das áreas produtoras. Com frequência, trabalhos que apresentam associações entre o consumo de agrotóxicos e casos de intoxicações causadas por estes abrangem um município ou região agrícola. Diante disso, uma análise mais espacializada, a nível estadual e nacional fica aparentemente negligenciada. Desta maneira, este trabalho tem por objetivo, examinar a associação entre o consumo de agrotóxicos e os casos de intoxicações exógenas, em nove Unidades da Federação entre 2009 e 2018. Estudo ecológico observacional de séries temporais utilizando dados de cobertura do solo da plataforma do MapBiomas, relatórios de comercialização de agrotóxicos do IBAMA, dados de intoxicações exógenas do SINAN e modelos de regressão linear múltipla particionada. Foram encontradas associações positivas entre a quantidade de agrotóxicos por área destinada à agropecuária, e a taxa por cem mil habitantes de intoxicações exógenas em quatro dos nove estados avaliados. Os resultados sugerem que tanto nacionalmente quanto nos estados o consumo de agrotóxicos e as taxas de intoxicações exógenas estão em crescimento.

Palavras-chave: agrotóxicos, intoxicações exógenas, SUS, agropecuária.

Abstract

Brazil is one of the largest producers of agricultural commodities in the world and, at the same time, one of its largest pesticides' consumers. In the same proportion that we generate wealth, we also threaten the environment and the health of the population with short, medium and long-term exposures that especially affect workers and residents close to producing areas. Often, studies that present associations between the consumption of pesticides and cases of poisoning caused by them cover a municipality or agricultural region. Given this, a more spatialized analysis, at the state and national level, is apparently neglected. Therefore, this work aims to examine the association between the consumption of pesticides and cases of exogenous poisoning, in nine Federation Units between 2009 and 2018. Observational ecological time series study using land cover data from the MapBiomas platform, pesticide commercialization reports from IBAMA, exogenous poisoning data from SINAN and multiple linear regression models. Positive associations were found between the consumption of pesticides per area used for farming and the rate of exogenous poisonings per hundred thousand inhabitants in four of the nine states evaluated. The results suggest that both nationally and in the states, the consumption of pesticides and the rates of exogenous poisoning are growing.

Keywords: pesticides, exogenous poisoning, Brazilian Public Health System, agriculture.

1 Introdução

Diferentes artigos apontam para o fato de que na década passada, o Brasil alcançou o topo do consumo de agrotóxicos no mundo¹⁻⁷, aliás um título que não deveria causar inveja em nenhuma outra nação, e mesmo que esta inconveniente posição não tenha se mantido durante os anos seguintes, nosso país sempre figura entre líderes em consumo de agrotóxicos do mundo⁸. O emprego destes produtos está relacionado com o modelo de produção agrícola nacional, que apesar de nos colocar como um dos maiores produtores de commodities agrícolas do planeta^{9,10,3,11}, necessita de grandes quantidades de agroquímicos sintéticos para o seu desenvolvimento, tendo o glifosato como o principal produto utilizado por aqui^{12,13} (coincidentemente, não somente aqui, mas em todo o mundo^{14-18,13}). A utilização do glifosato, em particular de forma ininterrupta, está associada a efeitos deletérios ao meio ambiente e as populações locais em diversos países¹⁹⁻²². Somado a isto, o modelo vigente, ainda conta com a utilização de plantas geneticamente modificadas (Genetically Modified Organism, GMO da sigla em inglês). Conhecidas no Brasil como transgênicos, a utilização e comercialização destas sementes foram regulamentadas no Brasil em 2003¹⁰ e há mais de vinte anos elas continuam sendo comercializadas normalmente. Estas plantas com características específicas e geralmente resistentes a algum tipo de agrotóxico (principalmente o glifosato), funcionam como um motor que alavanca a comercialização destes agroquímicos e transformou o glifosato no produto mais vendido do mundo^{23,15,24,20,21,10,25}. Para além do glifosato, ainda utilizamos diversos produtos banidos em outros países⁷, afora que parte significativa dos agrotóxicos é desperdiçada no processo de aplicação. A estimativa é de que algo próximo a dois terços é perdido e segue seu ciclo para contaminar o solo, a água, a fauna, a flora e a população que vive próxima a área de aplicação^{26,27,3,11}.

De modo geral, a exposição humana aos agrotóxicos ocorre em três categorias: exposição aguda (curto prazo), exposição subaguda (médio prazo) e exposição crônica (longo prazo). A exposição aguda está associada à problemas de saúde como: convulsões, tonturas, vômitos, náuseas, visão turva, coma e até morte acidental^{28,7,29}. Ademais, a Organização Mundial da Saúde (OMS) considera o suicídio por agrotóxicos um problema de saúde pública mundial³⁰⁻³³. Com efeito, este tipo de intoxicação de curto prazo pode ser apenas uma mostra superficial do

que está realmente acontecendo, pois esta, pode indicar que intoxicações mais longas, severas e contínuas estão sendo subnotificadas^{34,29}.

Na esteira de tudo isso, as exposições mais prolongadas (de médio e longo prazo) também estão associadas com diversos efeitos deletérios à saúde humana (principalmente nos trabalhadores envolvidos na produção agrícola), a saber: diferentes tipos de cânceres, lesões renais e hepáticas, tumores, malformações relacionadas ao aparelho reprodutor, sistema nervoso e musculoesquelético, além de doenças cardíacas congênitas, distúrbios neurológicos, endócrinos, e cognitivos^{35,36,27,37,38,22,29,39-41}. Todo este risco pode ser pensado também de forma financeira, pois o cuidado dispensado à estas enfermidades (especialmente as de médio e longo prazo) onera os cofres públicos, calcula-se que para cada US\$ 1 (um dólar) investido em agrotóxicos, são necessários US\$ 1,28 (um dólar e vinte e oito centavos) do Sistema Único de Saúde (SUS) para cuidar dos problemas causados por estes⁵.

Voltaremos nossa atenção para as exposições de curto prazo, de modo geral para as intoxicações exógenas (IEXOs). Por via de regra, uma intoxicação exógena é caracterizada pela interação de alguma substância sintética externa (daí o termo exógena) ao causar algum efeito nocivo a algum organismo vivo, no nosso caso, os seres humanos, gerando assim manifestações laboratoriais ou clínicas⁴²⁻⁴⁴. Como agentes tóxicos destas intoxicações podemos citar: medicamentos, agrotóxicos agrícolas e domésticos, raticidas, produtos veterinários, cosméticos, alimentos, bebidas, entre outros^{45,29,44,46}. Não existe um padrão específico para as manifestações de tais agravos, que podem variar desde efeitos leves (uma alergia), moderados (quando atingem algum órgão) e graves (quando chegam ao óbito)^{47,44}. Além do custo para o SUS, as IEXOs são também, independente de sua intencionalidade, fontes de morbidade e mortalidade para a população acometida^{48,44}.

Nacionalmente, a ocorrência de agravos deste tipo devem ser relatados e registrados no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) e/ou ao Sistema de Informação de Mortalidade (SIM) quando ocorrer o óbito^{43,49}. A comunicação das IEXOs pode auxiliar os órgãos competentes na proposição de políticas públicas para a redução de tais ocorrências (leves, moderadas e graves)^{50,43}. O óbito, como ocorrência mais grave possível, registrado por IEXOs pode ser

considerado como evitável e as políticas de atenção à saúde devem procurar sempre sua redução⁴³.

Sendo assim, este trabalho tem por objetivo analisar tendências, utilizando como variáveis de exposição: o percentual de floresta, o percentual de área destinada à agropecuária, a quantidade de agrotóxicos comercializados, a taxa de consumo de agrotóxicos por hectare destinado à agropecuária e o ano de comercialização dos agrotóxicos. Como variável de desfecho utilizaremos a taxa por cem mil habitantes de IEXOs, categoria agrotóxicos agrícolas, por meio de regressão múltipla⁵¹ particionada⁵², para nove Unidades da Federação.

2 Metodologia

População e métodos

A partir de dados secundários de cobertura do solo, comercialização de agrotóxicos e intoxicações exógenas realizou-se um estudo de caráter ecológico e de séries temporais, no qual foi analisada a associação entre as variáveis ao longo do período 2009 e 2018. A divisão espacial foram as UFs, pois os relatórios de comercialização de agrotóxicos não tem dados municipais como os dados de IEXOs.

As UFs escolhidas foram, nesta ordem, os estados que formam a região brasileira conhecida como Matopiba, Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA)⁵³, atualmente uma das principais fronteiras agrícolas do país⁵⁴⁻⁵⁶. Respectivamente, o terceiro e quarto colocados em valor de produção (VP)²⁸, de acordo com a Produção Agrícola Municipal (PAM) em 2019⁵⁹, Rio Grande do Sul (RS) e Paraná (PR), além do Espírito Santo (ES), representante da Região Sudeste, e dois estados do Arco do Desmatamento⁶⁰⁻⁶⁵, Rondônia (RO) e Mato Grosso (MT) que também é o estado com maior valor de produção em 2019⁵⁹.

Aquisição e características dos dados

Os dados de cobertura do solo foram obtidos junto ao Projeto MapBiomas – Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, através do link (<https://MapBiomas.org/estatisticas>). O Projeto MapBiomas tem por finalidade gerar mapas anuais de uso e cobertura do solo a partir de processos de

²⁸ O VP leva em conta o faturamento anual de todos os estabelecimentos agropecuários dentro de cada município ou UF e é medido em bilhões de reais ^{57,58}.

sensoriamento remoto^{66,67} utilizando imagens de satélite. Os dados são disponibilizados em séries temporais estaduais e divididos em níveis, dois destes níveis foram utilizados no presente trabalho, com suas respectivas cores nos gráficos: Floresta (verde), Agropecuária (vermelho)⁶⁸, na Figura 1 foram utilizados dados entre 2000 e 2019. A coleta dos dados sobre consumo de agrotóxicos foi obtida junto ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), por meio de relatórios semestrais de comercialização de agrotóxicos entre 2009 e 2018. Estes relatórios são públicos e estão acessíveis no sítio (<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>)²⁹. Os dados são apresentados em toneladas de ingrediente ativo (IA), por esta ser a substância que confere a eficácia do agrotóxico, além de assegurar o sigilo sobre os valores apresentados pelas marcas comerciais¹². Já os dados de intoxicações exógenas (código T 65.9 na CID-10)^{69,70} e os dados populacionais foram retirados da base de dados do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) entre 2007 e 2019 através do link (<https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>)⁷¹. O SINAN constitui-se como peça fundamental no auxílio e planejamento em saúde, na definição de prioridades regionais, além de permitir a avaliação do impacto de diferentes tipos de intervenções sanitárias, oportunizando o diagnóstico de ocorrência de eventos e a indicação possíveis riscos que possam acometer a população brasileira⁷².

Análise dos dados e construção dos indicadores

Os gráficos, coeficientes e análises estatísticas foram realizados com dois programas abertos, a saber: o programa R/RStudio versão para Windows (<https://www.r-project.org/>)⁷³ e o programa Joinpoint (<https://surveillance.cancer.gov/joinpoint/>)⁷⁴ também versão para Windows. A partir daí foram construídos modelos de regressão linear múltipla (multiple linear regressions)⁵¹ particionada⁵² e feita a análise dos coeficientes, suas versões finais foram geradas no R/Rstudio e aparecem na Tabela 1 e no Apêndice.

Como primeiras variáveis de exposição foram selecionadas o percentual de área destinada à agropecuária (per_agro, variável em vermelho na Figura 1), o

²⁹ Originalmente os dados foram retirados do sítio (<http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>), no entanto, em 2022 ocorreu uma migração do site do IBAMA para dentro do site do Governo Federal (gov.br). A partir daí os relatórios estão hospedados no site que aparece no texto.

percentual de cobertura florestal (*per_flo*, variável que aparece em verde na Figura 1) calculadas para as nove UFs escolhidas de acordo com as Equações 1a e 1b. Estes percentuais foram calculados no período entre 2000 e 2019 (ou seja, um período maior que o período de cálculo dos coeficientes), pois estamos pensando em um desmatamento anterior que possa ter algum efeito no consumo de agrotóxicos e nas IEXOs com certo atraso.

$$\text{Percentual de cobertura florestal} = \frac{\text{valor absoluto de cobertura florestal da UF (ha)}}{\text{área territorial da UF (ha)}} * 100 \quad (1a)$$

$$\text{Percentual de agropecuária} = \frac{\text{valor absoluto da área destinada à agropecuária da UF (ha)}}{\text{área territorial da UF (ha)}} * 100 \quad (1b)$$

Ainda como variável de exposição foi calculada a taxa de consumo de agrotóxicos por área destinada à agropecuária (*agrototoxicos_área*, variável que aparece em laranja na Figura 1), como mostra a Equação 2, nas nove UFs selecionadas no período entre 2009 e 2018 (no apêndice, temos um gráfico semelhante com a Figura 1 que utiliza o valor absoluto dos agrotóxicos comercializados como variável de exposição para os agrotóxicos). Por fim, a variável de desfecho escolhida foi o logaritmo natural da taxa por cem mil habitantes, como em trabalhos anteriores^{40,75}, das intoxicações exógenas (*tx_cmil*, variável em azul na Figura 1), na categoria agrotóxicos agrícolas, também para as nove UFs no período entre 2007 e 2019, taxa calculada conforme a Equação 3. Vale ressaltar que, embora na construção da Figura 1 utilizamos períodos diferentes para as variáveis de exposição, os cálculos dos coeficientes nos modelos ficaram restritos ao período de intersecção entre todas as variáveis, ou seja, o período entre 2009 e 2018.

$$\begin{aligned} &\text{Taxa de agrotóxicos por área destinada a agropecuária da UF} \\ &= \frac{\text{total de agrotóxicos na UF num ano (kg)}}{\text{área destinada a agropecuária da UF num ano (ha)}} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Taxa de IEXOs por cem mil} \\ &= \frac{\text{número de notificações de IEXOs em um ano qualquer}}{\text{população da UF em um ano qualquer}} * 100.000 \quad (3) \end{aligned}$$

Os resultados foram dispostos de modo a encontrarmos pontos relevantes (pontos de inflexão ou ponto de quebra) nas séries temporais, inicialmente no

Joinpoint e depois no R/Rstudio. O R/Rstudio encontrou para cada um dos modelos um único ponto de inflexão (devido ao fato da série temporal não ser muito longa), assim as séries foram divididas em duas partes e dois coeficientes (ajustados dentro da regressão múltipla) foram gerados para cada variável de exposição.

Posteriormente, modelos diferentes foram executados: utilizamos o a taxa de consumo de agrotóxicos por área destinada à agropecuária como exposição (um modelo semelhante utilizava o valor absoluto da comercialização de agrotóxicos como principal variável de exposição, vide Apêndice), outro modelo utilizava o ano como única variável de exposição (vide Apêndice) e um terceiro modelo utilizava simultaneamente o ano e a taxa de consumo de agrotóxicos por área destinada à agropecuária como variáveis de exposição. E em cada um destes, foram testados modelos alternativos em que acrescentamos, por exemplo, a variável referente à cobertura florestal, além de outras variáveis explicativas para o desfecho. Modelos com quatro, três, duas e uma única variável foram testados na busca por um melhor ajuste, foi adotada a estratégia de que o modelo mais simples (ou seja, com o menor número de variáveis) e melhor capacidade de explicação seria o melhor. Por fim, o modelo com duas variáveis: o ano e a taxa de consumo de agrotóxicos por área destinada à agropecuária se mostrou mais adequado e seus resultados estão resumidos na Tabela 1.

Aspectos éticos e ponderações sobre os dados de IEXOs

Por utilizar de bases de dados públicas como IBAMA e DATASUS e pelo caráter ecológico, sem nenhuma abordagem individualizada ou caracterização pessoal, a prévia aprovação do estudo por um comitê de ética torna-se não obrigatória.

Evidenciamos também o fato de que para os dados de comercialização de agrotóxicos temos registros de agrotóxicos sem UF, isto é, aqueles que foram comercializados, mas não sabemos seu destino, estes podem de alguma maneira subestimar/superestimar a análise dos resultados (tais percentuais podem ser vistos no Apêndice).

Já o SUS brasileiro, de onde retiramos os dados de IEXOs, é um dos maiores sistemas públicos de saúde do mundo⁷⁶⁻⁷⁸, e o SINAN particularmente não funciona como um único organismo e sim, podemos pensar em diversos sistemas descentralizados. Sistemas estes que facilitam o acesso a informação, mas ao

mesmo tempo funcionam de forma heterogênea^{79,80}. Como principais parâmetros podemos citar a cobertura, entendida como a capacidade de obtenção da totalidade dos eventos ocorridos para uma determinada variável^{81,82,79}; a completude, entendida como correto e completo preenchimento do documento necessário para a oficialização do evento ocorrido, no nosso caso, a Ficha de Investigação de Intoxicações Exógenas^{69,70}. Aqui, a avaliação da completude pode ser analisada pela frequência em que ocorre, em qualquer variável do mesmo, os termos “ignorado” e/ou “em branco”⁷⁹ (para o percentual destes resultados ver Apêndice); já a confiabilidade está relacionada com a concordância e a legitimidade dos resultados quando comparados a outros sistemas de informação^{83,84,79} (não é o objetivo deste trabalho realizar comparações de confiabilidade).

Trabalhos anteriores indicam a subnotificação como uma vulnerabilidade nos registros de intoxicações por agrotóxicos, é possível que apenas 2% dos casos chegam a ser registrados⁸⁵⁻⁹¹. Decerto, ações são necessárias para aumentar a qualidade dos dados IEXOs do SINAN, como exemplos podemos citar o aumento da cobertura nas regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos e um maior e melhor preenchimento das fichas de notificação^{86,90}. Apesar disso, o SINAN e toda a sua estrutura, na ausência de um conjunto de dados mais completos, é extremamente útil e utilizado pelo Ministério da Saúde para orientar, programar e consolidar ações sanitárias em populações expostas aos agrotóxicos. Seus dados são utilizados para a criação de indicadores de saúde que direcionam subsídios governamentais, capacitação de profissionais de atenção básica e análise de resíduos no solo, ar e água, enfim ações que melhoram a qualidade de vida das populações afetadas pelo problema dos agrotóxicos^{92,93}.

3 Resultados

A Figura 1 expõe a série temporal ampliada das quatro variáveis do estudo³⁰ a saber: o percentual de floresta (per_flo), o percentual de agropecuária (per_agro), a quantidade de agrotóxicos consumidos por área destinada à agropecuária

³⁰ Vale ressaltar que na Figura 1 as variáveis: per_agro (linha vermelha), per_flo (linha verde) e tx_mlh (linha azul) estão na escala do eixo vertical da esquerda, enquanto que a variável agrototoxicos_area (linha laranja) está na escala no eixo vertical da direita.

(agrotoxicos_area) e a taxa de intoxicações exógenas por um milhão (tx_mlh)³¹. Nela, podemos dividir as UF's em dois grupos, aquelas que registraram valores acima da média nacional de consumo de agrotóxicos por área (PI, RS, PR, MT) e aquelas que apresentam valores mais próximos ou abaixo da média nacional, que é 1,52 kg/ha no período de estudo (MA, TO, BA, ES, RO). O Rio Grande do Sul em 2017 tem a maior taxa (5,05 kg/ha), seguido do Paraná em 2016 (4,76 kg/ha) e o Mato Grosso também em 2016 (3,04 kg/ha) aparece em terceiro (vide Apêndice). Todos os nove estados tem tendência de alta em suas taxas. Quando olhamos os aumentos percentuais das taxas entre o primeiro ano da série (2009) e o último (2018), os aumentos percentuais em ordem decrescentes são os seguintes: Tocantins de 0,16 kg/ha para 0,96 kg/ha (aumento de 500% na taxa), Piauí de 0,46 kg/ha para 1,37 kg/ha (aumento de 197%), Rondônia de 0,19 kg/ha para 0,53 kg/ha (aumento de 178%), Espírito Santo de 0,44 kg/ha para 1,19 kg/ha (aumento de 170%), Mato Grosso de 1,10 kg/ha para 2,96 kg/ha (aumento de 169%), Maranhão de 0,36 kg/ha para 0,95 kg/ha (aumento de 163%), Bahia de 0,39 kg/ha para 0,96 kg/ha (aumento de 146%), Paraná de 2,28 kg/ha para 4,29 kg/ha (aumento de 88%) e Rio Grande do Sul de 2,59 kg/ha para 4,52 kg/ha (aumento de 74%). A observação das taxas de IEXOs também apontam crescimento em todas as UF's, os resultados dos crescimentos percentuais entre 2007 e 2019 (linha azul na Figura 1) na ordem decrescente são: Rio Grande do Sul de 3,59 para 54,79 por milhão (aumento de 1426%), Tocantins de 8,85 para 92,83 por milhão (aumento de 948%), Espírito Santo de 19,44 para 105,63 por milhão (aumento de 443%), Maranhão de 1,25 para 6,07 por milhão (aumento de 385%), Rondônia de 28,88 para 106,99 por milhão (aumento de 270%), Bahia de 6,16 para 17,58 (aumento de 185%), Mato Grosso de 17,53 para 24,56 por milhão (aumento de 40%)³², Piauí de 7,77 para 11,45 por milhão (aumento de 11%) e Paraná de 70,19 para 73,76 por milhão (aumento de 5%)³³.

³¹ Apesar da variável de desfecho calculada nos modelos e na Tabela 1 ser a taxa por cem mil (tx_cmil), por questões de escala, na Figura 1, a taxa apresentada está por 1 milhão. Para a conversão basta multiplicarmos por 10, ou seja, por exemplo, uma taxa de 2 por cem mil é equivalente a uma taxa de 20 por 1 milhão, que é o valor que aparece na Figura 1. Também destaca-se que nos modelos, os valores dos coeficientes seguem os mesmos tanto para uma taxa de cem mil quanto para uma taxa de 1 milhão, alterando apenas os valores dos interceptos.

³² Vale destacar o Mato Grosso que mesmo com aumento entre o ano inicial (2007) e o final (2019) apresenta tendência de queda ao longo da série.

³³ O Paraná apresenta tendência de queda na primeira parte da série, chegando sua taxa a cair para 49,12 por milhão em 2012, para em seguida nos anos finais voltar a crescer.

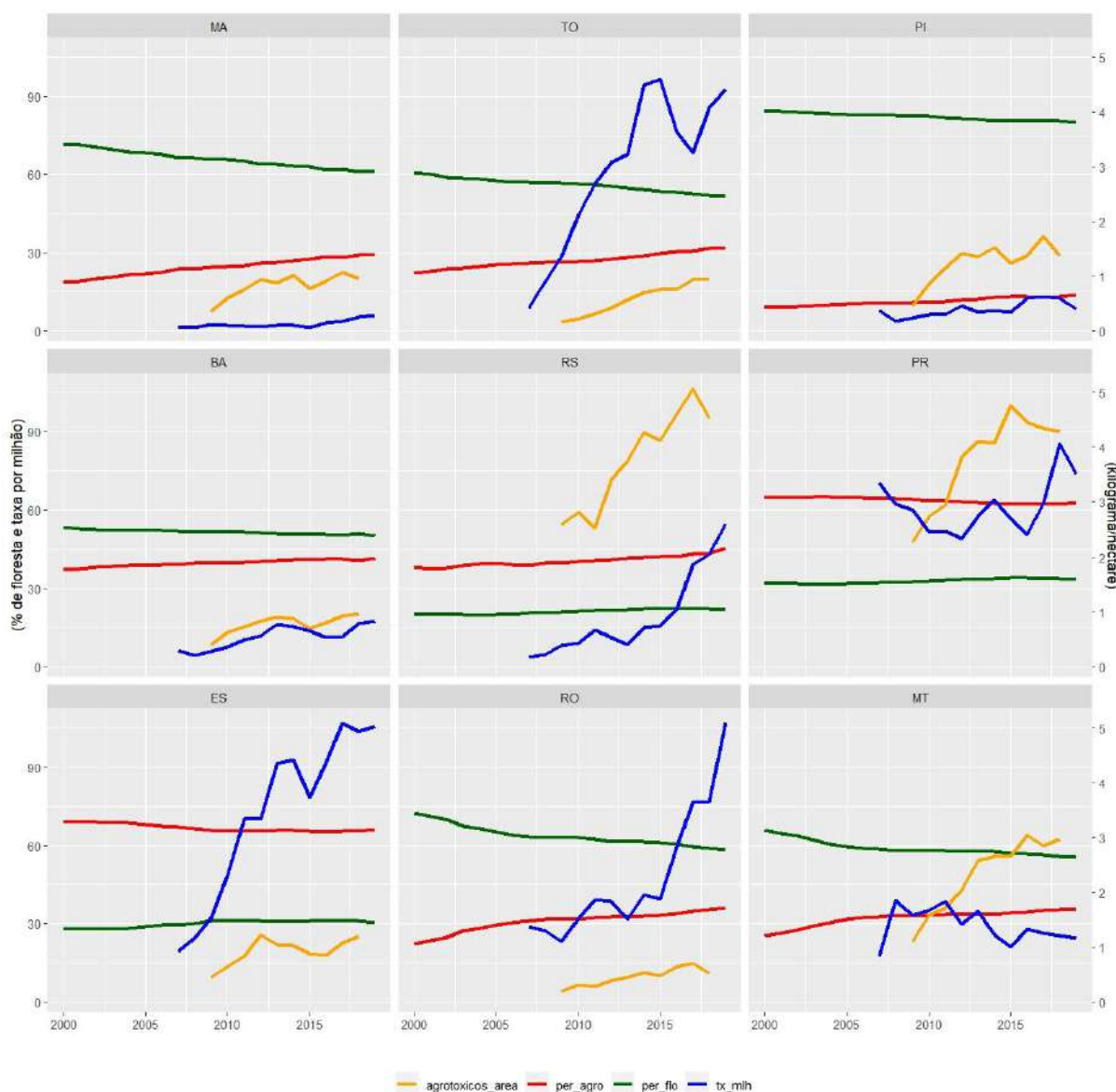


Figura 1. Séries temporais para o percentual de área destinada à agropecuária (per_agro, linha vermelha), cobertura florestal (per_flo, linha verde), taxa de agrotóxicos comercializados por área destinada à agropecuária (agrotóxicos_área, linha laranja) e taxa por milhão de internações exógenas por agrotóxicos agrícolas (tx_mlh, linha azul) para nove Unidades da Federação entre 2000 e 2019.

A Tabela 1 foi construída a partir de um modelo com duas variáveis de exposição: ano e taxa de consumo de agrotóxicos por área destinada à agropecuária. Em seis UFs (MA, BA, RS, PR, ES e RO) foram encontradas ao menos uma associação entre o ano e o desfecho (logaritmo da taxa de IEXOs por 100.000 habitantes). Já a taxa de consumo de agrotóxicos aponta associações em quatro das nove UFs (MA, BA, ES e MT). No Maranhão, Bahia e Mato Grosso a

associação é positiva, entretanto no Espírito Santo temos uma associação positiva no primeiro intervalo e uma associação negativa no segundo intervalo. Neste segundo segmento, temos uma redução no consumo de agrotóxicos associada a um aumento nas IEXOs. Este modelo apresenta um número menor de associações quando comparado com o modelo com apenas o ano como variável de exposição, que é o modelo que representa a influência da passagem do tempo nas IEXOs (Tabela 3 no Apêndice). Ademais, o modelo com duas variáveis, apresenta associações semelhantes em três UFs (RS, ES e MT) com o modelo na qual a taxa de consumo de agrotóxicos é a única variável de exposição. Todavia, a associação no MT está invertida, no modelo duplo ela é positiva e no modelo simples ela é negativa, fato de destaque em nossa análise e compreensão das associações.

Tabela 1. Modelo com o ano e a taxa de agrotóxicos por área destinada à agropecuária como variáveis de exposição e o logaritmo da taxa de intoxicações exógenas por agrotóxicos agrícolas por 100.000 habitantes como variável de desfecho. Resultados significativos destacados em cinza.

Ponto de quebra	Intervalos	Est.	CI (95%).l	CI (95%).u
MA				
Ano				
	2009 - 2011	-1.42560*	-2.10100	-0.75013
2011	2011 - 2018	0.17165*	0.11937	0.22392
Agrotoxicos_area (kg/ha)				
	0.366 - 0.884	6.33720*	3.0871	9.5872
0.884	0.884 - 1.073	-0.42718	-2.3698	1.5155
TO				
Ano				
	2009 - 2014	0.495550	-0.10735	1.09840
2014	2014 - 2018	0.016605	-0.31561	0.34882
Agrotoxicos_area (kg/ha)				
	0.163 - 0.575	-2.9742	-10.0740	4.1257
0.575	0.575 - 0.964	-1.1497	-5.0423	2.7428
PI				
Ano				
	2009 - 2013	-0.14200	-0.470860	0.18687
2013	2013 - 2018	0.14482	-0.026195	0.31583

Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	0.460 - 1.416	1.06750	-0.24433	2.3793
1.416	1.416 - 1.733	0.16007	-3.19610	3.5162
BA				
Ano				
	2009 - 2013	0.25791*	0.18115	0.33467
2013	2013 - 2018	-0.17064*	-0.23102	-0.11025
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	0.395 - 0.910	-0.1915	-0.75492	0.37193
0.910	0.910 - 0.961	14.4090*	10.15900	18.65800
RS				
Ano				
	2009 - 2016	0.19527*	0.056398	0.33414
2016	2016 - 2018	0.32962	-0.279680	0.93892
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	2.522 - 3.753	-0.61256	-1.04420	-0.18096
3.753	3.753 - 5.055	0.37476	-0.52276	1.27230
PR				
Ano				
	2009 - 2016	0.0055316	-0.084752	0.0958150
2016	2016 - 2018	-0.065944*	-0.130380	-0.0015119
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	2.283 - 2.742	0.11561	-0.24650	0.47772
2.742	2.742 - 4.760	-0.03231	-0.25021	0.18559
ES				
Ano				
	2009 - 2015	0.016209	-0.018674	0.051092
2015	2015 - 2018	0.101550*	0.015270	0.187830
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	0.448 - 0.973	1.9798*	1.5077	2.45190
0.973	0.973 - 1.233	-1.1622*	-1.7903	-0.53409
RO				
Ano				

	2009 - 2014	-0.029224	-0.190000	0.13156
2014	2014 - 2018	0.179970*	0.077177	0.28276
Agrotoxicos_area (kg/ha)				
	0.199 - 0.284	5.14480	-1.26610	11.5560
0.284	0.284 - 0.706	0.79554	-0.95443	2.5455
MT	continua ...			
Ano				
	2009 - 2011	-0.25863	-0.52046	0.0032015
2015	2011 - 2018	0.0068197	-0.10731	0.1209500
Agrotoxicos_area (kg/ha)				
	1.109 - 1.723	0.92681	0.053599	1.8000
1.723	1.723 - 3.042	0.56142	-0.166940	1.2898

* resultados estatisticamente significativos de acordo com o nível de significância de 5%.

4 Discussão

Nacionalmente, encontramos uma tendência de alta no consumo de agrotóxicos por área destinada à agropecuária (e também no valor absoluto, vide Apêndice), tendência já observada em análise realizada à nível municipal⁹⁴. A tendência de aumento também é observada na taxa nacional de IEXOs (vide Apêndice). No tocante ao ano, foram encontradas cinco associações positivas (MA, BA, RS, ES e RO) e três associações negativas (MA, BA e PR). Para a taxa de consumo de agrotóxicos foram encontradas quatro associações positivas nos primeiros segmentos da série temporal (MA, BA, ES e MT), com uma exceção para segundo segmento do ES que apresentou uma associação negativa entre a exposição e o desfecho, contudo os dados do ES indicam uma queda no consumo de agrotóxicos no segundo segmento e mesmo assim um aumento na taxa de IEXOs (Figura 1 e Tabela 1). Estes resultados parecem estar em sintonia com trabalhos anteriores que também encontraram associações entre o consumo de agrotóxicos e intoxicações nacionalmente e em algumas UFs^{95,96}.

Com relação à cobertura florestal e a agropecuária (respectivamente linhas verde e vermelha nas figuras), chama a atenção o fato de que o Rio Grande do Sul conseguiu aumentar a sua área florestal e ao mesmo tempo aumentar também a sua

área destinada à agropecuária, sugerindo assim como em trabalhos anteriores, que o desmatamento do RS ocorreu em outro bioma, possivelmente nos pampas⁹⁷.

Quanto à construção do modelo, num primeiro momento, este era formado por quatro variáveis explicativas (per_agro, per_flo, quantidade e ano), entretanto percebemos que a área destinada à agropecuária e a cobertura florestal tinham uma alta associação entre si podendo assim gerar confundimento e/ou interação⁹⁸⁻¹⁰⁰ no modelo final. Assim, o percentual de floresta foi descartado e um novo modelo com apenas três variáveis foi gerado. Este modelo, quando comparado com um ainda mais simples utilizando apenas duas variáveis também foi descartado pela hipótese da simplicidade (os resultados do modelo com duas variáveis podem ser vistos na Tabela 1). Modelos com apenas uma variável de exposição: ano (representando apenas a passagem do tempo e taxa de consumo de agrotóxicos podem ser vistos no Apêndice.

Pensando no modelo com apenas a taxa de consumo de agrotóxicos com variável de exposição que está na Tabela 3 do Apêndice, quatro (TO, PI, RS e ES) apresentaram algum tipo de associação positiva entre a exposição e o desfecho em algum período da série temporal (que era o esperado), contudo o estado do Mato Grosso que, no período de estudo, aparece como o maior consumidor de agrotóxicos em valor absoluto¹¹, possui uma associação negativa diferente do caso do ES (ou seja, aumento no consumo de agrotóxicos por área indica uma redução nas taxas de IEXOs), isto nos chamou a atenção e sugerimos algumas hipóteses que possam ajudar na compreensão deste fato.

Vale ressaltar que o MT é um estado relativamente maior que os demais e possui uma área destinada à agropecuária superior aos demais e que embora apresente os maiores valores absolutos para o consumo de agrotóxicos, suas taxas de consumo por área não são as maiores, ficando atrás dos estados da Região Sul. Uma hipótese explicativa seria o tipo de lavoura existente no estado (predominantemente soja, milho e algodão⁵⁹) que é diferente dos estados do Sul (que produzem arroz, feijão⁵⁹) e do Espírito Santo (café⁵⁹), por exemplo. Outra hipótese seria o método de utilização destes agrotóxicos (pulverização por aviões e mecanização) e da quantidade de trabalhadores por hectare nas lavouras que pode ser menor do que em outras regiões brasileiras gerando menos exposição e portanto menos casos de IEXOs. Pensando agora na qualidade dos dados do SINAN, o Mato Grosso não apresenta uma completude⁷⁹ muito abaixo das outras UFs selecionadas

(vide Apêndice) e também está próximo da média nacional, o que pode indicar que mesmo com a subnotificação dos casos⁸⁵⁻⁹¹, aqueles reportados tem qualidade análoga aos dados de outros estados.

Enfim, tanto o percentual de registro de agrotóxicos sem UF, quanto o percentual de IEXOs com resultados brancos e ignorados vem melhorando no período de estudo, tanto nas UFs selecionadas como nacionalmente. O percentual de agrotóxicos sem UF caiu para menos de 10% e manteve neste patamar nos últimos anos da série temporal, já os dados de IEXOs, de maneira geral permanecem abaixo de 20% para resultados brancos e ignorados (vide Apêndice, linha preta no gráfico). Estes resultados aventam, com o passar dos anos, uma melhoria na qualidade dos dados e consequentemente no cálculo dos indicadores e das associações.

5 Considerações finais

Nosso estudo é um estudo observacional, com desenho ecológico, descritivo e de séries temporais e que se propôs a buscar associações, associações não necessariamente implicam em causalidade⁹⁸⁻¹⁰⁰. No entanto, independente do tipo de estudo que conduzido, alguns padrões ficaram aparentes: o consumo de agrotóxicos no Brasil aumentou durante o período de estudo (tanto a taxa por área destinada à agropecuária quanto o valor absoluto), assim como as taxas de IEXOs. Associações positivas entre estas variáveis foram encontradas alguns dos estados analisados. O Espírito Santo (Tabela 1) e o Mato Grosso (Tabela 3, Apêndice) que foram exceções, com correlações negativas e nos levam a reflexão, podem existir outras variáveis, que não foram abordadas neste trabalho, e que também influenciam neste contexto e essa pode ser considerada uma limitação do estudo. Variáveis como: o tipo de agrotóxico utilizado e sua classificação por classes de toxicidade^{101,102}, o tipo de lavoura plantada e o método de aplicação e dispersão dos agrotóxicos em cada UF, quantos trabalhadores existem em cada região agrícola, são apresentadas como possibilidades para futuros trabalhos que desejem abordar esta questão. Uma avaliação mais profunda sobre a qualidade dos dados, tanto do IBAMA quanto do SINAN também são sugeridas para aumentar a confiabilidade dos resultados, possíveis comparações com outras base de dados, além de uma análise

mais regional, e se possível municipal, separando áreas urbanas de rurais, do consumo de agrotóxicos e das IEXOs.

De certa forma, é interessante imaginar a escala do uso de agrotóxicos no Brasil, que a partir de 2013 está acima de 400.000 toneladas de ingrediente ativo, com estados como o Rio Grande do Sul e Paraná, com taxas acima de 4 kg/ha e como tudo isso está associado com o aumento nas taxas de intoxicações exógenas. Visto como é difícil e mais custoso (por corretos motivos éticos) realizar ensaios clínicos randomizados, coortes ou estudos de caso-controle que possam se aproximar da causalidade^{98–100}, os estudos ecológicos de séries temporais podem funcionar como sinalizadores em regiões sabidamente agrícolas (ou não) de que este processo pode estar causando malefícios aos trabalhadores e a população local, além de onerarem o SUS com os custos de seus tratamentos⁵, o lucro é privado, mas o sofrimento é público. Por fim, muitas destas intoxicações poderiam ser evitadas se o modelo de produção não utilizasse tantos agrotóxicos, ou pelo menos reduzisse o consumo dos mesmos. Atitude que beneficiaria não somente os seres humanos que vivem próximos as lavouras como o meio ambiente^{103–107} já tão castigado pelas ações humanas neste período conhecido como Antropoceno^{108–112}.

6 Referências

1. Guazzelli MJ. Brasil: O maior consumidor de agrotóxicos agrícolas. Entrevista especial com Maria José Guazzelli | Biodiversidad en América Latina [Internet]. 2009 [citado 26 de abril de 2021]. Disponível em: https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Brasil_O_maior_consumidor_de_agrotoxicos_agricolas._Entrevista_especial_com_Maria_Jose_Guazzelli
2. Nasralla Neto E, Lacaz FA de C, Pignati WA. Vigilância em saúde e agronegócio: os impactos dos agrotóxicos na saúde e no ambiente. Perigo à vista! Ciência & Saúde Coletiva. 2014;19:4709–18.
3. Pignati W, Oliveira NP, Silva AMC da. Vigilância aos agrotóxicos: quantificação do uso e previsão de impactos na saúde-trabalho-ambiente para os municípios brasileiros. Ciência & Saúde Coletiva. 2014;19:4669–78.
4. Carneiro FF. Dossiê Abrasco: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde [Internet]. EPSJV / Expressão Popular; 2015 [citado 26 de abril de 2021]. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/26221>
5. Serra LS, Mendes MRF, Soares MVA, Monteiro IP. Revolução Verde: reflexões acerca da questão dos agrotóxicos. Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB. 2016;1(4):2–25.

6. Carvalho MMX de, Nodari ES, Nodari RO. “Defensivos” ou “agrotóxicos”? História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*. 2017;24(1):75–91.
7. AMAZONAS J, SILVEIRA G, RODRIGUES R, ALMEIDA V, SARPA M, FRIEDRICH K. Agrotóxicos utilizados no Brasil e proibidos em outros países. *Cadernos de Agroecologia*. 2018;13(1).
8. Zhang W. Global pesticide use: Profile, trend, cost / benefit and more. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*. março de 2018;8(1):1–27.
9. Rozenbaum S, Leitão SP. Para um agronegócio sem exclusão. *Revista de Administração Pública*. 2006;40(2):289–312.
10. Almeida VES de, Friedrich K, Tygel AF, Melgarejo L, Carneiro FF. Uso de sementes geneticamente modificadas e agrotóxicos no Brasil: cultivando perigos. *Ciência & Saúde Coletiva*. 2017;22:3333–9.
11. Pignati, Lima FAN de S, Lara SS de, Correa MLM, Barbosa JR, Leão LH da C, *et al*. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*. 2017;22:3281–93.
12. IBAMA. Relatórios de comercialização de agrotóxicos [Internet]. 2016 [citado 27 de abril de 2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>
13. Teixeira DE, Paula RLG, Napolitano HB. Legislação e Normatização para o Glifosato no Brasil. *Revista Processos Químicos*. 2019;13(25):105–16.
14. Service RF. A growing threat down on the farm. *Science*. 2007;316(5828):1114–7.
15. Duke SO, Powles SB. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*. 2008;64(4):319–25.
16. Bonny S. Genetically modified herbicide-tolerant crops, weeds, and herbicides: overview and impact. *Environmental management*. 2016;57(1):31–48.
17. Bain C, Selfa T, Dandachi T, Velardi S. ‘Superweeds’ or ‘survivors’? Framing the problem of glyphosate resistant weeds and genetically engineered crops. *Journal of rural studies*. 2017;51:211–21.
18. Scarrow R. Glyphosate resistance: Of superweeds and survivors. *Nature plants*. 2017;3(6):1–1.
19. Curvo HRM, Pignati WA, Pignatti MG. Morbimortalidade por câncer infantojuvenil associada ao uso agrícola de agrotóxicos no Estado de Mato Grosso, Brasil. *Cadernos Saúde Coletiva*. 2013;21(1):10–7.
20. Swanson NL, Leu A, Abrahamson J, Wallet B. Genetically engineered crops, glyphosate and the deterioration of health in the United States of America. *Journal of Organic Systems*. 2014;9(2):6–37.
21. Benbrook CM. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*. 2016;28(1):1–15.
22. Vazquez MA, Maturano E, Etchegoyen A, Difilippo FS, Maclean B. Asociación entre cáncer y exposición ambiental a glifosato. *International journal of clinical medicine*. 2017;8(2):73–85.

23. Young BG. Changes in herbicide use patterns and production practices resulting from glyphosate-Resistant crops¹. *Weed Technology*. 2006;20(2):301–7.
24. Peshin R, Zhang W. Integrated pest management and pesticide use. Em: *Integrated pest management*. Springer; 2014. p. 1–46.
25. Daubenmire PL. Genetically Modified Organisms as a Food Source: History, Controversy, and Hope. Em: *Chemistry's Role in Food Production and Sustainability: Past and Present*. ACS Publications; 2019. p. 203–9.
26. Chaim A. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos: fatores que afetam a eficiência e o impacto ambiental. Em: *Agrotóxicos & Ambiente*. Brasília, DF: Embrapa; 2004. p. 289–317.
27. PIGNATI W, Maciel RHMO, Rigotto RM. Saúde do trabalhador. Em: *Epidemiologia & Saúde*. Rio de Janeiro, RJ: Med Book; 2013. p. 355–81.
28. OPAS. MANUAL DE VIGILÂNCIA DA SAÚDE DE POPULAÇÕES EXPOSTAS A AGROTOXICOS [Internet]. Brasília: OPAS/OMS; 1996. Disponível em: MANUAL DE VIGILÂNCIA DA SAÚDE DE POPULAÇÕES ... <http://bvsmms.saude.gov.br/publicacoes/livro2>
29. de Lara SS, Pignati WA, Pignatti MG, da Costa Leão LH, Machado JMH. A agricultura do agronegócio e sua relação com a intoxicação aguda por agrotóxicos no Brasil. *Hygeia-Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*. 2019;15(32):1–19.
30. WHO WH. Preventing suicide: A global imperative. World Health Organization; 2014.
31. Mew EJ, Padmanathan P, Konradsen F, Eddleston M, Chang SS, Phillips MR, *et al*. The global burden of fatal self-poisoning with pesticides 2006-15: systematic review. *Journal of affective disorders*. 2017;219:93–104.
32. Jung M, Chang SJ, Kim CB, Min S, Lee K, Koh SB, *et al*. Association between chronic exposure to pesticide and suicide. *Journal of occupational and environmental medicine*. 2019;61(4):314–7.
33. Bonvoisin T, Utyasheva L, Knipe D, Gunnell D, Eddleston M. Suicide by pesticide poisoning in India: a review of pesticide regulations and their impact on suicide trends. *BMC public health*. 2020;20(1):1–16.
34. Medronho R de A, Bloch KV, Luiz RR, Werneck GL. *Epidemiologia*. São Paulo: Atheneu; 2009.
35. Belpomme D, Irigaray P, Hardell L, Clapp R, Montagnier L, Epstein S, *et al*. The multitude and diversity of environmental carcinogens. *Environmental research*. 2007;105(3):414–29.
36. Weissmann W. Agrotóxicos e doenças não transmissíveis. *Ciênc saúde coletiva*. março de 2007;12(1):20–1.
37. Oliveira NP, Moi GP, Atanaka-Santos M, Silva AMC, Pignati WA. Malformações congênitas em municípios de grande utilização de agrotóxicos em Mato Grosso, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*. 2014;19:4123–30.
38. Ueker ME, Silva VM, Moi GP, Pignati WA, Mattos IE, Silva AMC. Parenteral exposure to pesticides and occurrence of congenital malformations: hospital-based case-control study. *BMC pediatrics*. 2016;16(1):1–7.

39. Costa NZ, Nora CRD, Souto LHD, Carlotto FD, Afonso RDS, Riquinho DL. EXPOSURE TO TOXIC AGROCHEMICALS AND DEVELOPMENT OF CONGENITAL MALFORMATIONS: A SCOPING REVIEW. *Texto contexto - enferm.* 2021;30:e20200372.
40. Dutra LS, Ferreira AP, Horta MAP, Palhares PR. Uso de agrotóxicos e mortalidade por câncer em regiões de monoculturas. *Saúde debate.* dezembro de 2020;44(127):1018–35.
41. Varghese JV, Sebastian EM, Iqbal T, Tom AA. Pesticide applicators and cancer: a systematic review. *Reviews on Environmental Health.* 20 de dezembro de 2021;36(4):467–76.
42. Oliveira FFS, Suchara EA. Perfil epidemiológico das intoxicações exógenas em crianças e adolescentes em município do mato grosso1. *Revista Paulista de Pediatria.* dezembro de 2014;32(4):299–305.
43. Alvim ALS, França RO, Assis BBD, Tavares MLDO. EPIDEMIOLOGIA DA INTOXICAÇÃO EXÓGENA NO BRASIL ENTRE 2007 E 2017 / EPIDEMIOLOGY OF EXOGENOUS INTOXICATION IN BRAZIL BETWEEN 2007 AND 2017. *BJD.* 2020;6(8):63915–25.
44. Sene ER, Mascarenhas ABR, Macedo MKP, Neves NG, Souza TRD, Machado LCDS. Intoxicação exógena no estado de Goiás / Exogenous intoxications in the state of Goiás. *Braz J Hea Rev.* 21 de novembro de 2021;4(6):25854–66.
45. Santos SA, Legay LF, Lovisi GM, Santos JFDC, Lima LA. Suicídios e tentativas de suicídios por intoxicação exógena no Rio de Janeiro: análise dos dados dos sistemas oficiais de informação em saúde, 2006-2008*. *Rev bras epidemiol.* junho de 2013;16(2):376–87.
46. Ministério da Saúde. DATASUS Tecnologia da Informação a Serviço do SUS [Internet]. 2024 [citado 16 de abril de 2024]. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sinannet/cnv/Intoxbr.def>
47. Fernandes TC, Silva HLD, Almeida AA, Gonçalves RDS, Carvalho MB, Ribeiro MID. Intoxicação medicamentosa no estado do Maranhão: uma análise dos casos notificados entre os anos de 2010 a 2020. *RSD.* 29 de outubro de 2021;10(14):e147101421672.
48. Garcia RB, Polisel CG, Franck JG. INTOXICAÇÕES AGUDAS: PERCEPÇÕES E PRÁTICAS DE PROFISSIONAIS ATUANTES EM SERVIÇOS DE URGÊNCIA E EMERGÊNCIA HOSPITALAR. *Rev Bras Farm Hosp Serv Saúde São Paul.* junho de 2017;8(2):32–3.
49. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 4, de 28 de setembro de 2017 [Internet]. 2023 [citado 16 de abril de 2024]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/z/zika-virus/publicacoes/portaria-de-consolidacao-no-4-de-28-de-setembro-de-2017.pdf/view>
50. Magalhães AFA, Caldas ED. Underreporting of fatal poisonings in Brazil – A descriptive study using data from four information systems. *Forensic Science International.* junho de 2018;287:136–41.
51. Rothman KJ, Greenland S, Lash TL. *Modern Epidemiology* [Internet]. 3º ed. Estados Unidos: Lippincott Williams & Wilkins; 2012. 776 p. Disponível em: http://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/onlineBook/a9c7D5_Modern_Epidemiology_3.pdf
52. Muggeo VMR. segmented: An R Package to Fit Regression Models with Broken-Line Relationships. *R News.* 2008;8(1):20–5.
53. Embrapa. Matopiba - Portal Embrapa [Internet]. 2021 [citado 26 de abril de 2021]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-matopiba>

54. Pereira LI, Pauli L. MATOPIBA: controle do território e expansão da fronteira da estrangeirização da terra. *Revista NERA*. 2016;22(47):148–72.
55. Garcia JR, Vieira Filho JER. A questão ambiental ea expansão da fronteira agrícola na direção do Matopiba brasileiro. *Texto para Discussão*; 2017.
56. Santos JFS. Produção de soja, desigualdades no campo e mudanças climáticas na região do Matopiba. *DRd-Desenvolvimento Regional em debate*. 2020;10:535–61.
57. MAPA. Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP) [Internet]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2017 [citado 24 de agosto de 2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>
58. MAPA. Municípios com alta produção agrícola impactam PIB local, mostra estudo do Mapa [Internet]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2020 [citado 19 de julho de 2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/municipios-com-maior-valor-da-producao-agricola>
59. IBGE. Produção Agrícola Municipal (PAM) 2019 [Internet]. Rio de Janeiro, RJ; 2020 [citado 23 de abril de 2024]. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=766>
60. Piontekowski VJ, Matricardi EAT, Pedlowski MA, Fernandes LC. Avaliação do desmatamento no estado de Rondônia entre 2001 e 2011. *Floresta e Ambiente*. 2014;21(3):297–306.
61. IPAM. IPAM Amazônia | Arco do desmatamento [Internet]. 2015 [citado 26 de abril de 2021]. Disponível em: <http://ipam.org.br>, <https://ipam.org.br/glossario/arco-do-desmatamento/>
62. Bampi AC, Dutra MM, da Silva CAF, Arantes A, Sroczynski CI. Expansão da fronteira agrícola capitalista no Baixo Araguaia Brasileiro (MT): alterações ambientais e conflitos socio-territoriais. *Estudios Socioterritoriales Revista de Geografía*. 2017;(21):29–45.
63. Fearnside PM. Como sempre, os negócios: o ressurgimento do desmatamento na Amazônia brasileira. *Yale Environment*. 2017;360:18.
64. Kastens JH, Brown JC, Coutinho AC, Bishop CR, Esquerdo JCD. Soy moratorium impacts on soybean and deforestation dynamics in Mato Grosso, Brazil. *PloS one*. 2017;12(4):e0176168.
65. Avelino EN. Expansão da fronteira agrícola sobre o Cerrado: o mapeamento do uso da terra no município de Diamantina-MT. *Revista de Geociências do Nordeste*. 2018;4:89–101.
66. Florenzano TG. Iniciação em sensoriamento remoto. *Oficina de textos*; 2007.
67. Campbell JB, Wynne RH. *Introduction to remote sensing*. 5th ed. New York: Guilford Press; 2011. 667 p.
68. Mapbiomas. Mapbiomas Brasil [Internet]. 2021 [citado 28 de abril de 2021]. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>
69. República Federativa do Brasil. SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE AGRAVOS DE NOTIFICAÇÃO FICHA DE INVESTIGAÇÃO INTOXICAÇÃO EXÓGENA [Internet]. Ministério da Saúde; 2005 [citado 26 de fevereiro de 2024]. Disponível em: http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Agravos/iexog/Intoxicacao_Exogena_v5.pdf

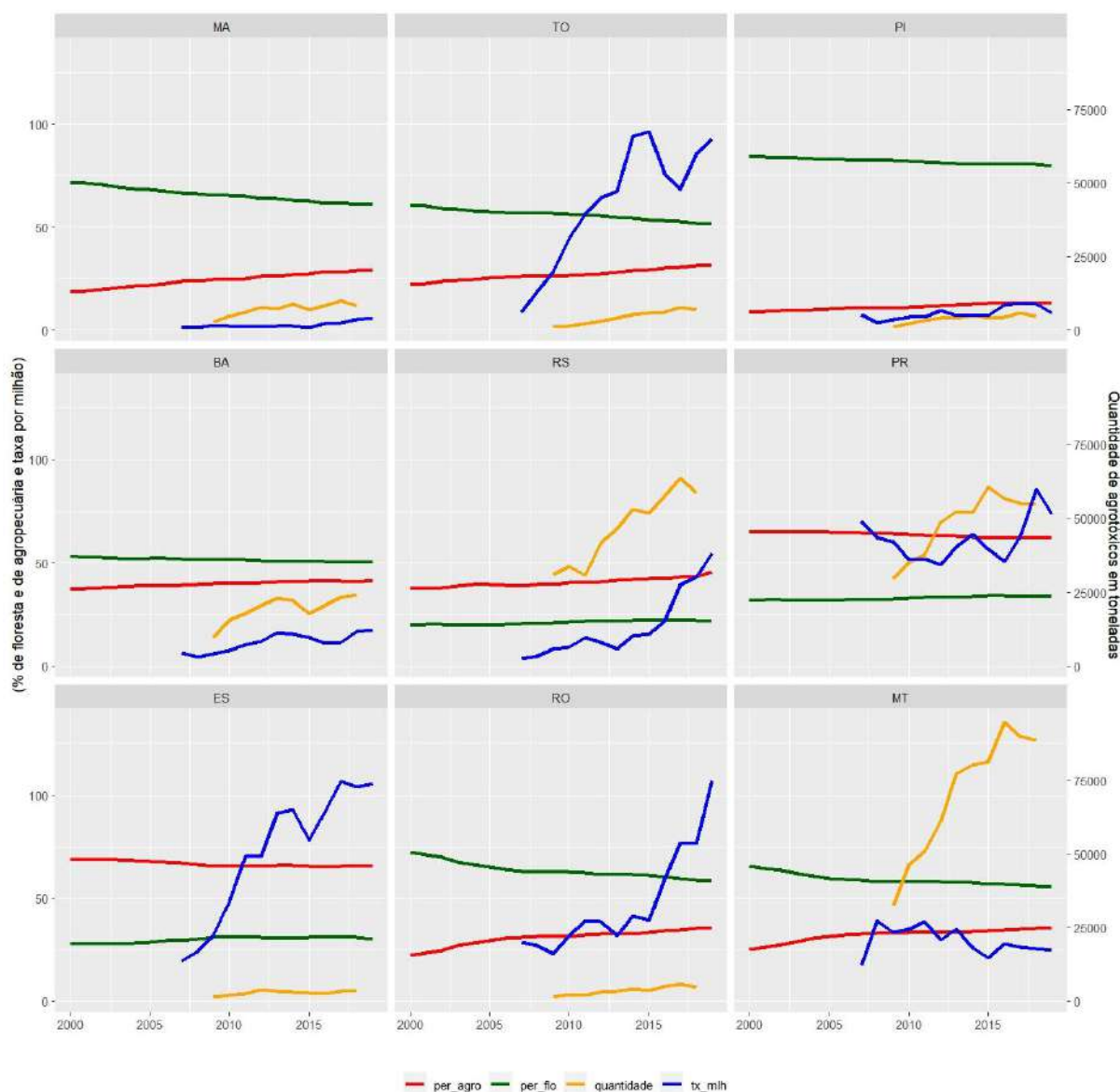
70. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Instruções para preenchimento da Ficha de Investigação de Intoxicação Exógena [Internet]. 2018 [citado 24 de fevereiro de 2024]. Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/intoxicacao_exogena_sinan.pdf
71. Ministério da Saúde. Tabnet [Internet]. 2024 [citado 1º de abril de 2024]. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>
72. Governo Federal. SINAN [Internet]. Sistema de Informação de Agravos de Notificação. 2024 [citado 1º de abril de 2024]. Disponível em: <https://portalsinan.saude.gov.br/>
73. R Project. The R Project for Statistical Computing [Internet]. 2024 [citado 1º de abril de 2024]. Disponível em: <https://www.r-project.org/>
74. National Cancer Institute. Joinpoint Trend Analysis Software [Internet]. 2024 [citado 1º de abril de 2024]. Disponível em: <https://surveillance.cancer.gov/joinpoint/>
75. Carvalho KP, Corassa RB, Petarli GB, Cattafesta M, Zandonade E, Salaroli LB. Intoxicações exógenas por agrotóxicos no Espírito Santo, 2007-2016: distribuição espacial e tendências da taxa de incidência e letalidade dos casos notificados. *Epidemiol Serv Saúde*. 2022;31(2):e2021424.
76. Brasil. Presidência da República [Internet]. Diário Oficial da União, Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Lei Orgânica da Saúde. set 19, 1990 p. 18055. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm
77. Duarte E, Eble LJ, Garcia LP. 30 anos do Sistema Único de Saúde. *Epidemiol Serv Saúde*. 26 de março de 2018;27:e00100018.
78. Cobaito FC, Cobaito VQ. SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE–SUS: A GÊNESE, CONTEMPORANEIDADE, E OS DESAFIOS DO AMANHA. *Revista Perspectiva: Ciência e Saúde*. 2020;5(2).
79. Pedraza DF. Qualidade do Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos (Sinasc): análise crítica da literatura. *Ciência & Saúde Coletiva*. 2012;17:2729–37.
80. Piccolo DM. Qualidade de dados dos sistemas de informação do Datasus: análise crítica da literatura. *Ciência da Informação em Revista*. 2018;5(3):13–9.
81. Souza LM de. Avaliação do sistema de informação sobre nascidos vivos–Sinasc, Minas Gerais e Mesorregiões, 2000. 2004;
82. Jorge MHP de M, Laurenti R, Gotlieb SLD. Análise da qualidade das estatísticas vitais brasileiras: a experiência de implantação do SIM e do SINASC. *Ciência & Saúde Coletiva*. 2007;12:643–54.
83. Silva AAM da, Ribeiro VS, Borba Júnior AF, Coimbra LC, Silva RA da. Avaliação da qualidade dos dados do Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos em 1997-1998. *Revista de Saúde Pública*. 2001;35:508–14.
84. Romero DE, Cunha CB da. Avaliação da qualidade das variáveis epidemiológicas e demográficas do Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos, 2002. *Cadernos de Saúde Pública*. 2007;23:701–14.
85. Bochner R. Perfil das intoxicações em adolescentes no Brasil no período de 1999 a 2001. *Cadernos de Saúde Pública*. 2006;22:587–95.

86. Faria NMX, Fassa AG, Facchini LA. Intoxicação por agrotóxicos no Brasil: os sistemas oficiais de informação e desafios para realização de estudos epidemiológicos. *Ciência & Saúde Coletiva*. 2007;12(1):25–38.
87. de Mello Jorge MHP, Laurenti R, Gottlieb SLD. Avaliação dos sistemas de informação em saúde no Brasil. *Cad Saúde Colet*. 2010;18(1):07–18.
88. Malaspina FG, ZiniLise ML, Bueno PC. Perfil epidemiológico das intoxicações por agrotóxicos no Brasil, no período de 1995 a 2010. *Cad Saúde Coletiva*. 2011;19(4):425–34.
89. Scardoelli MGC, Buriola AA, de Oliveira MLF, Waidman MAP. Intoxicações por agrotóxicos notificadas na 11^a regional de saúde do estado do Paraná. *Ciência, Cuidado e Saúde*. 2011;10(3):549–55.
90. Albuquerque PCC de, Gurgel IGD, Gurgel A do M, Augusto LG da S, Siqueira MT de. Sistemas de informação em saúde e as intoxicações por agrotóxicos em Pernambuco. *Revista Brasileira de Epidemiologia*. 2015;18:666–78.
91. Queiroz PR, Lima KC, Oliveira TC de, Santos MM dos, Jacob JF, Oliveira AMBM de. Sistema de Informação de Agravos de Notificação e as intoxicações humanas por agrotóxicos no Brasil. *Revista Brasileira de Epidemiologia*. 2019;22:e190033.
92. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Diretrizes Nacionais para a Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos [Internet]. Secretaria de Vigilância em Saúde; 2017 [citado 11 de março de 2024]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_vigilancia_populacoes_expostas_agrotoxicos.pdf
93. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Vigilância em Saúde das Populações Expostas a Agrotóxicos [Internet]. 2022 [citado 11 de março de 2024]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa/saude-do-trabalhador/renast/vspea>
94. Queiroz GR, Assis Neto FID, Peres GM, Souza GA, Campos HM, Alves IH, *et al*. Perfil epidemiológico de intoxicação exógena por agrotóxicos no Município de Jataí, Goiás. *BJHR*. 2020;3(4):8197–211.
95. Bernardo LVM, Farina MJUS, Ruviaro CF. ANÁLISE LOCACIONAL DA INTOXICAÇÃO EXÓGENA POR AGROTÓXICOS NA REGIÃO CENTRO-OESTE BRASILEIRA ENTRE 2007 A 2013. 2021;7:01–17.
96. Hein MMF, Macedo LOB. Mensuração de externalidades econômicas oriundas das intoxicações exógenas por agrotóxicos em Mato Grosso. *Revista Saúde e Desenvolvimento Humano*. 2021;9(3):01–10.
97. Capoane V, Kuplich TM. Expansão da agricultura no bioma Pampa. 8 Região de Estudos Ambientais. 2018;
98. Kleinbaum DG, Sullivan KM, Barker ND. A pocket guide to epidemiology. New York: Springer; 2007. 281 p.
99. Keyes KM, Galea S. Epidemiology matters: a new introduction to methodological foundations. Oxford: Oxford University Press; 2014. 239 p.
100. Szklo M, Nieto FJ. Epidemiology: beyond the basics. Fourth edition. Burlington, Massachusetts: Jones & Bartlett Learning; 2019. 577 p.

101. Braibante MEF, Zappe JA. A química dos agrotóxicos. *Química nova na escola*. 2012;34(1):10–5.
102. WHO. The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and guidelines to classification, 2019 edition [Internet]. 2019 [citado 12 de janeiro de 2022]. Disponível em: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240005662>
103. Sampson D. Productivism, Agroecology, and the Challenge of Feeding the World. *Gastronomica*. 1º de novembro de 2018;18(4):41–53.
104. Van Der Ploeg JD, Barjolle D, Bruil J, Brunori G, Costa Madureira LM, Dessein J, *et al.* The economic potential of agroecology: Empirical evidence from Europe. *Journal of Rural Studies*. outubro de 2019;71:46–61.
105. Altieri MA. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Em: *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes*. Elsevier; 1999. p. 19–31.
106. Stroparo TR. Segurança alimentar e desenvolvimento sustentável sob a perspectiva da agroecologia. *Europub Journal of Health Research*. novembro de 2022;3(4):879–84.
107. Borsari B. De los agronegocios a la agroecología y la transición hacia un sistema alimentario sostenible en Panamá. *IPC USMA*. 1º de janeiro de 2024;12(1):48–62.
108. Artaxo P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? *Revista Usp*. 2014;(103):13–24.
109. Myers SS. Planetary health: protecting human health on a rapidly changing planet. *The Lancet*. dezembro de 2017;390(10114):2860–8.
110. Silva CM, ARBILLA G. Antropoceno: os desafios de um novo mundo. *Revista Virtual de Química*. 2018;10(6):1619–47.
111. Alves JED. Antropoceno: a Era do colapso ambiental | CEE Fiocruz [Internet]. CEE - Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz. 2020 [citado 24 de agosto de 2021]. Disponível em: <https://cee.fiocruz.br/?q=node/1106>
112. Zalasiewicz J, Waters C, Williams M. The anthropocene. Em: *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier; 2020. p. 1257–80.

7 Apêndice

.De acordo com a Figura abaixo, apenas três UFs tiveram aumento no percentual de floresta no período de estudo, o Rio Grande do Sul (de 19,95% para 21,83%), o Paraná (de 31,81% para 33,55% e o Espírito Santo (28,01 para 30,36%). Ao mesmo tempo, Paraná e Espírito Santo diminuíram suas áreas destinadas à agropecuária (de 64,88% para 62,66% e de 68,88% para 66,10% respectivamente), enquanto que o Rio Grande do Sul expandiu sua área destinada à agropecuária (de 38,06% para 45,38%), desmatamento este que pode ter ocorrido em outro bioma do estado. Entre 2009 e 2018, todos os nove estados apresentaram aumento na quantidade de agrotóxicos comercializada, com os maiores valores vindos do Mato Grosso em 2016 (94.553 toneladas de IA), seguido pelo Rio grande do Sul em 2017 (63.696 toneladas de IA) e do Paraná em 2015 (60.622 toneladas de IA). Com relação às taxas por cem mil das IEXOs por agrotóxicos agrícolas, podemos dividir as UFs em dois grupos: o primeiro grupo onde a taxa permanece abaixo de 2 por cem mil (que é próxima da taxa média nacional no período 2,028, vide Apêndice) composto pelo Maranhão, Piauí e Bahia; o segundo grupo é formado pelos estados que, de modo geral, tem a taxa acima de 2 por cem mil, Tocantins, Rio Grande do Sul, Paraná, Espírito Santo, Rondônia e Mato Grosso (TO, ES e RO com taxas próximas de 10 por cem mil em alguns anos, o que significa uma taxa cinco vezes maior do que a média nacional). Com exceção do Mato Grosso, todos estados experienciaram aumento nas taxas de intoxicações exógenas.



Séries temporais para o percentual de área destinada à agropecuária (per_agro, linha vermelha), cobertura florestal (per_flo, linha verde), quantidade de agrotóxicos comercializados (quantidade, linha laranja) e taxa por milhão de habitantes de interações exógenas por agrotóxicos agrícolas (tx_mlh, linha azul) para nove Unidades da Federação entre 2000 e 2019.

Tabela 2. com os pontos de inflexão para os três modelos utilizados: modelo 1 (ano x IEXOs), modelo 2 (agrotóxicos x IEXOs), modelo 3 (ano e agrotóxicos x IEXOs).

UF	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3			
	ano		agrotóxicos		ano		agrotóxicos	
	Est.	St. Err	Est.	St. Err	Est.	St. Err	Est.	St. Err
MA	2015	0.799	0.777	0.127	2011.527	0.128	0.884	0.025
TO	2013.97	0.676	0.345	0.056	2014	0.530	0.575	0.193
PI	2015	3.63	1.146	0.823	2013.265	1.400	1.416	0.511
BA	2012.897	0.817	0.699	0.476	2013.388	0.240	0.910	0.004
RS	2013.305	1.002	3.749	0.364	2016	4.703	3.753	0.282
PR*	2016.603	0.519	4.291	0.472	2016	1.294	2.742	0.515
ES	2011.092	0.358	1.172	0.018	2015	1.113	0.973	0.020
RO	2015	1.422	0.453	0.274	2014	1.103	0.284	0.046
MT	2010.193	2.041	1.704	0.628	2014.764	0.721	1.723	0.580

*O ajuste do modelo de todas as UFs ocorreu pelo comando gaussian, entretanto o modelo 3 do Paraná não estava rodando, este foi ajustado pelo comando inverse.gaussian (o inverso da função gaussian).

Com exceção do Maranhão e do Paraná, em todas as outras UFs foram identificadas ao menos uma associação entre a quantidade de agrotóxicos comercializados e a taxa por cem mil de IEXOs. Associações positivas foram encontradas no primeiro período (antes do ponto de inflexão indicado pelo Joinpoint) da série temporal na Bahia, na série completa do Tocantins, Piauí, Rio Grande do Sul, Espírito Santo e Rondônia, além de uma associação negativa no Mato Grosso. Pensando no peso da associação, a com maior grau foi detectada em Rondônia (evidenciada pelos três asteriscos), seguida das associações com dois asteriscos no Piauí, Bahia (primeiro período), Rio Grande do Sul e Espírito Santo (primeiro período), por fim temos com um asterisco a associação do Tocantins, Espírito Santo (segundo período) e a associação negativa do Mato Grosso.

Tabela 3. Resultados dos coeficientes para o modelo com a taxa de agrotóxicos por área destinada à agropecuária como variável de exposição e o logaritmo da taxa de intoxicações exógenas por agrotóxicos agrícolas como variável de desfecho para as nove Unidades da Federação. Resultados significativos destacados em cinza.

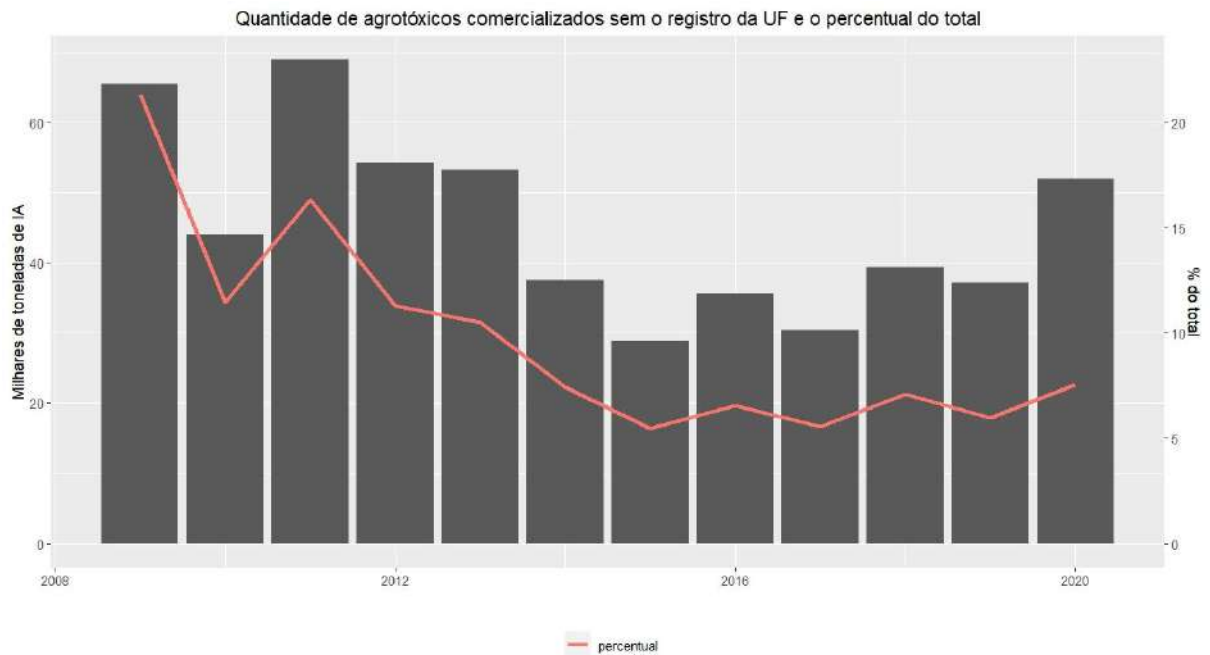
Ponto de quebra	Intervalos	Est.	CI (95%).l	CI (95%).u
MA				
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	0.366 - 0.777	-0.86442	-3.40510	1.6762
0.777	0.777 - 1.073	2.62100	-0.47818	5.7202
TO				
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	0.163 - 0.345	4.56560	1.60690	7.5243
0.345	0.345 - 0.964	0.34171	-0.31247	0.9959
PI				
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	0.460 - 1.146	0.46571	-1.2513000	2.1827
1.146	1.146 - 1.733	1.05660	0.0068232	2.1064
BA				
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	0.395 - 0.699	2.0059	-0.289630	4.3015
0.699	0.699 - 0.961	1.3997	-0.083354	2.8827
RS				
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	2.522 - 3.749	-0.0721	-0.66144	0.51724
3.749	3.749 - 5.055	1.1918	0.30243	2.08120
PR				
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	2.283 - 4.291	0.091856	-0.090385	0.27410
4.291	4.291 - 4.760	-0.338450	-1.524200	0.84725
ES				
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	0.448 - 1.172	1.8113	1.4079	2.2146
1.172	1.172 - 1.233	-9.7133	-17.8170	-1.6101

RO				
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	0.199 - 0.453	1.5068	-1.04950	4.0631
0.453	0.453 - 0.706	2.5593	-0.17344	5.2920
MT				
Agrotoxicos_area				
(kg/ha)				
	1.109 - 1.704	0.11143	-0.81235	1.035200
1.704	1.704 - 3.042	-0.26735	-0.52135	-0.013348

Tabela 4. Resultados dos coeficientes para o modelo com ano como variável de exposição.

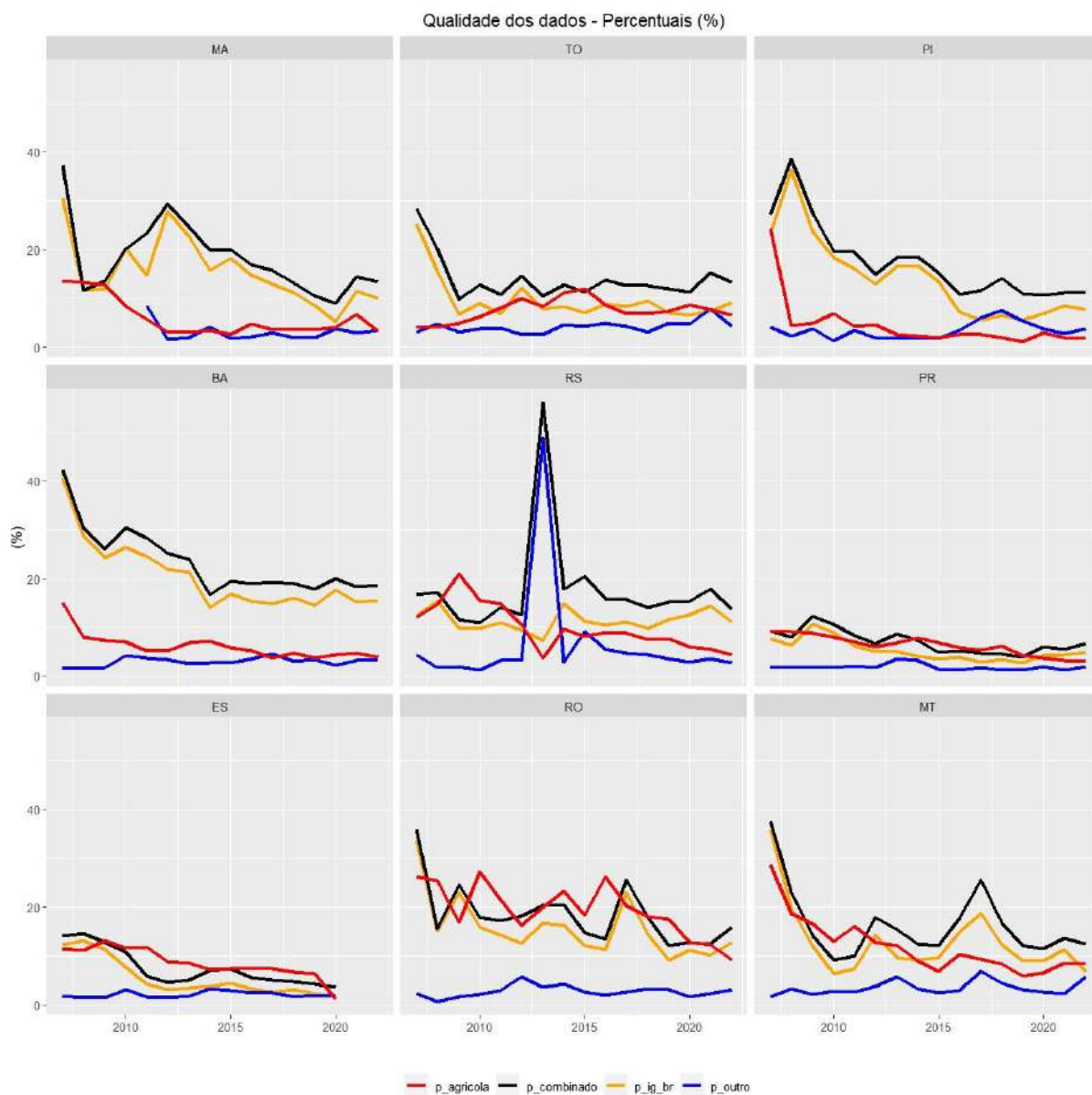
Ponto de quebra	Intervalos	Est.	CI (95%).l	CI (95%).u
MA				
Ano*				
2015	2009 - 2015	-0.027641	-0.097251	0.041969
	2015 - 2018	0.365800	0.105340	0.626250
TO				
Ano				
2014	2009 - 2014	0.209400	0.12472	0.294080
	2014 - 2018	-0.053647	-0.13833	0.031036
PI				
Ano				
2015	2009 - 2015	0.071825	0.00074743	0.14290
	2015 - 2018	0.160240	- 0.10571000	0.42619
BA				
Ano				
2013	2009 - 2013	0.232670	0.098768	0.366580
	2013 - 2018	-0.028648	-0.100220	0.042928
RS				
Ano				
2013	2009 - 2013	0.02955	-0.10356	0.16266
	2013 - 2018	0.30541	0.17230	0.43852
PR				
Ano				
2017	2009 - 2017	0.0008427	-0.029394	0.03108
	2017 - 2018	0.3137500	0.036617	0.59087
ES				
Ano				
2011	2009 - 2011	0.391800	0.259590	0.524010
	2011 - 2018	0.052753	0.017419	0.088087
RO				
Ano				
2015	2009 - 2015	0.077917	0.0031954	0.15264
	2015 - 2018	0.218290	0.0784980	0.35808
MT				
Ano				
	2009 - 2010	0.052446	-0.365080	0.4699700

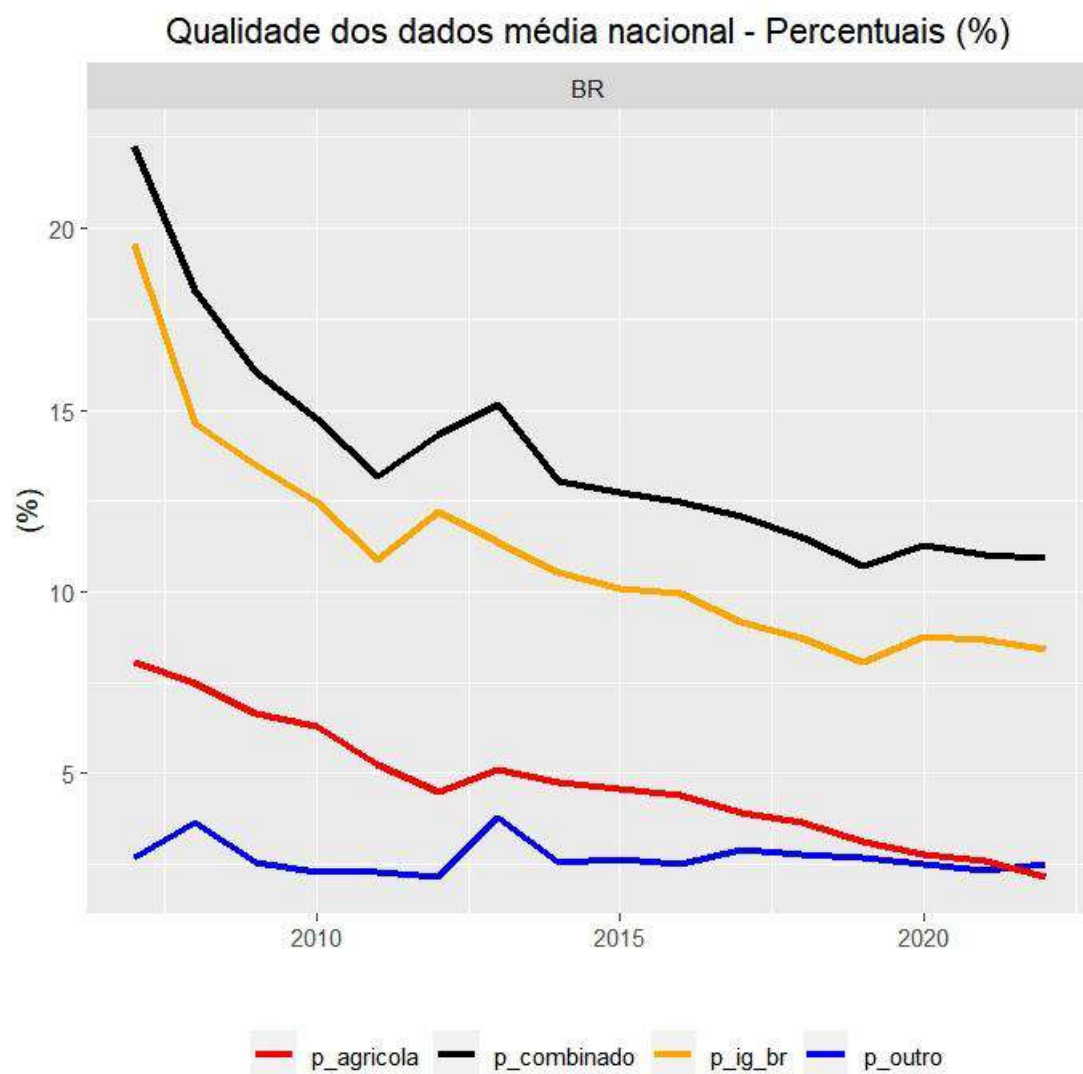
2010	2010 - 2018	-0.052598	-0.098153	-0.0070423
-------------	-------------	-----------	-----------	------------

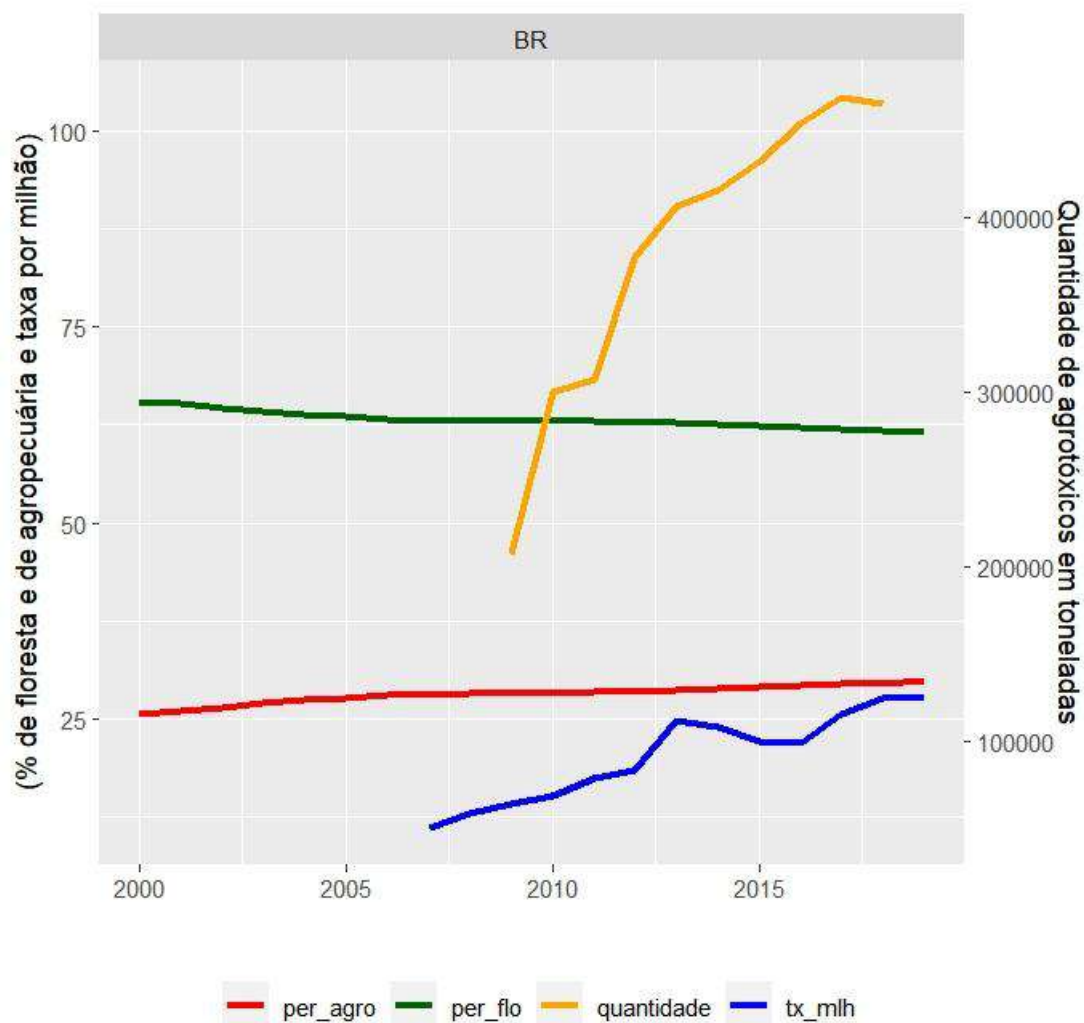


Quantidade de agrotóxicos sem UF e percentual do total no período 2009 e 2018.

Percentual combinado (linha preta) é a soma dos branco/ignorados (linha amarela) com os outros (linha azul). Percentual agrícola é o percentual do total (não somente das intoxicações por agrotóxicos agrícolas) considerado na categoria agrotóxico agrícola.



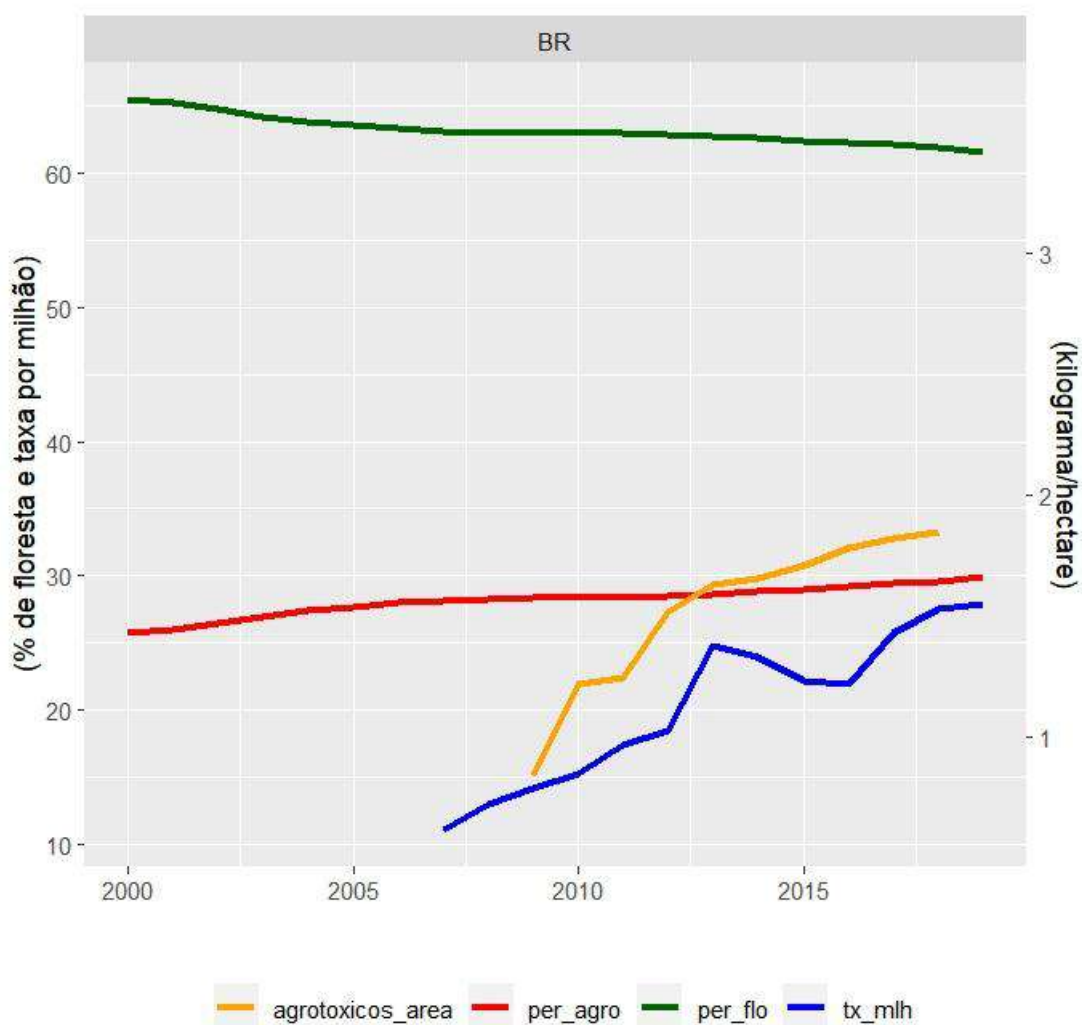




Cálculo da Taxa média nacional de IEXOs por milhão no período entre 2007 e 2019.

$$\text{Tx_mlh (média nacional)} = (11,06 + 13,07 + 14,24 + 15,28 + 17,44 + 18,51 + 24,81 + 24,04 + 22,16 + 21,96 + 25,72 + 27,59 + 27,88) / 13 = 20,28$$

20,28 por milhão é equivalente a taxa de 2,028 por cem mil.



Cálculo da taxa de consume médio nacional de agrotóxicos por área destinada à agropecuária.

Agrotóxicos_área (média nacional) = $(0,84 + 1,21 + 1,24 + 1,51 + 1,62 + 1,65 + 1,71 + 1,78 + 1,82 + 1,84) / 10 = 1,52$

Ficha de Intoxicação Exógena

República Federativa do Brasil
Ministério da SaúdeSINAN
SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE AGRAVOS DE NOTIFICAÇÃO
FICHA DE INVESTIGAÇÃO INTOXICAÇÃO EXÓGENA

Nº

Caso suspeito: todo aquele indivíduo que, tendo sido exposto a substâncias químicas (agrotóxicos, medicamentos, produtos de uso doméstico, cosméticos e higiene pessoal, produtos químicos de uso industrial, drogas, plantas e alimentos e bebidas), apresente sinais e sintomas clínicos de intoxicação e/ou alterações laboratoriais provavelmente ou possivelmente compatíveis.

Dados Gerais	1	Tipo de Notificação		2 - Individual		
	2	Agravado/doença		Código (CID10)	3 Data da Notificação	
	INTOXICAÇÃO EXÓGENA		T 65.9			
	4 UF	5 Município de Notificação	Código (IBGE)			
Notificação Individual	6	Unidade de Saúde (ou outra fonte notificadora)		Código	7 Data dos Primeiros Sintomas	
	8	Nome do Paciente		9 Data de Nascimento		
	10 (ou) Idade	1 - Hora 2 - Dia 3 - Mês 4 - Ano	11 SEXO M - Masculino F - Feminino I - Ignorado	12 Gestante 1-1º Trimestre 2-2º Trimestre 3-3º Trimestre 4-Idade gestacional Ignorada 5-Não 6-Não se aplica 9-Ignorado	13 Raça/Cor 1-Branca 2-Preta 3-Amarela 4-Parda 5-Indígena 9-Ignorado	
	14	Escolaridade 0-Analfabeto 1-1ª a 4ª série incompleta do EF (antigo primário ou 1º grau) 2-4ª série completa do EF (antigo primário ou 1º grau) 3-5ª a 8ª série incompleta do EF (antigo ginásio ou 1º grau) 4-Ensino fundamental completo (antigo ginásio ou 1º grau) 5-Ensino médio incompleto (antigo colegial ou 2º grau) 6-Ensino médio completo (antigo colegial ou 2º grau) 7-Educação superior incompleta 8-Educação superior completa 9-Ignorado 10-Não se aplica				
Dados de Residência	15	Número do Cartão SUS		16 Nome da mãe		
	17 UF	18 Município de Residência	Código (IBGE)	19 Distrito		
	20	Bairro		21 Logradouro (rua, avenida,...) Código		
	22	Número		23 Complemento (apto., casa, ...)		
	24	Geo campo 1		25 Geo campo 2		
	26	Ponto de Referência		27 CEP		
	28 (DDD) Telefone	29 Zona 1 - Urbana 2 - Rural 3 - Periurbana 9 - Ignorado	30 País (se residente fora do Brasil)			
	Dados Complementares do Caso					
Antecedentes Epidemiológicos	31	Data da Investigação		32 Ocupação		
	33	Situação no Mercado de Trabalho 01 - Empregado registrado com carteira assinada 05 - Servidor público celetista 09 - Cooperativado 02 - Empregado não registrado 06 - Aposentado 10 - Trabalhador avulso 03 - Autônomo/ conta própria 07 - Desempregado 11 - Empregador 04 - Servidor público estatutário 08 - Trabalho temporário 12 - Outros 99 - Ignorado				
	34	Local de ocorrência da exposição 1. Residência 2. Ambiente de trabalho 3. Trajeto do trabalho 4. Serviços de saúde 5. Escola/creche 6. Ambiente externo 7. Outro 9. Ignorado				
Dados da Exposição	35	Nome do local/estabelecimento de ocorrência		36 Atividade Econômica (CNAE)		
	37 UF	38 Município do estabelecimento	Código (IBGE)	39 Distrito		
	40	Bairro		41 Logradouro (rua, avenida, etc. - endereço do estabelecimento)		
	42	Número		43 Complemento (apto., casa, ...)		
	44	Ponto de Referência do estabelecimento		45 CEP		
	46 (DDD) Telefone	47 Zona de exposição 1 - Urbana 2 - Rural 3 - Periurbana 9 - Ignorado	48 País (se estabelecimento fora do Brasil)			

Intoxicação Exógena

Sinan NET

SVS

09/06/2005

Dados da Exposição	49 Grupo do agente tóxico/Classificação geral [] [] 01. Medicamento 02. Agrotóxico/uso agrícola 03. Agrotóxico/uso doméstico 04. Agrotóxico/uso saúde pública 05. Raticida 06. Produto veterinário 07. Produto de uso Doméstico 08. Cosmético/higiene pessoal 09. Produto químico de uso Industrial 10. metal 11. Drogas de abuso 12. Planta tóxica 13. Alimento e bebida 14. Outro 99. Ignorado			
	50 Agente tóxico (Informar até três agentes) Nome Comercial/popular		Princípio Ativo	
	1 - _____		1 - _____	
	2 - _____		2 - _____	
	3 - _____		3 - _____	
	51 Se agrotóxico, qual a finalidade da utilização [] 1. Inseticida 2. Herbicida 3. Carrapaticida 4. Raticida 5. Fungicida 6. Preservante para madeira 7. Outro _____ 8. Não se aplica 9. Ignorado			
52 Se agrotóxico, quais as atividades exercidas na exposição atual 01- Diluição 05- Colheita 09- Outros 1º Opção: [] [] 02- Pulverização 06- Transporte 10- Não se aplica 2º Opção: [] [] 03- Tratamento de sementes 07- Desinsetização 99- Ignorado 3º Opção: [] [] 04- Armazenagem 08- Produção/formulação				
53 Se agrotóxico de uso agrícola, qual a cultura/lavoura _____				
54 Via de exposição/contaminação 1- Digestiva 4- Ocular 7- Transplacentária 1º Opção: [] 2- Cutânea 5- Parenteral 8- Outra 2º Opção: [] 3- Respiratória 6- Vaginal 9- Ignorada 3º Opção: []				
55 Circunstância da exposição/contaminação [] [] 01- Uso Habitual 02- Acidental 03- Ambiental 04- Uso terapêutico 05- Prescrição médica inadequada 06- Erro de administração 07- Automedicação 08- Abuso 09- Ingestão de alimento ou bebida 10- Tentativa de suicídio 11- Tentativa de aborto 12- Violência/homicídio 13- Outra: _____ 99- Ignorado				
56 A exposição/contaminação foi decorrente do trabalho/ocupação? [] 1- Sim 2- Não 9- Ignorado		57 Tipo de Exposição 1- Aguda - única 2- Aguda - repetida 3- Crônica [] 4- Aguda sobre Crônica 9- Ignorado		
58 Tempo Decorrido entre a Exposição e o Atendimento [] [] [] 1- Hora 2- Dia 3- Mês 4- Ano 9- Ignorado				
Dados do Atendimento	59 Tipo de atendimento [] 1- Hospitalar 2- Ambulatorial 3- Domiciliar 4- Nenhum 9- Ignorado		60 Houve hospitalização? [] 1- Sim 2- Não 9- Ignorado	
	61 Data da Internação [] [] [] [] [] []		62 UF [] []	
63 Município de hospitalização [] [] [] [] [] [] [] [] [] []		64 Unidade de saúde [] [] [] [] [] [] [] [] [] []		
65 Classificação final 1 - Intoxicação confirmada 2 - Só Exposição 3 - Reação Adversa 4 - Outro Diagnóstico 5 - Síndrome de abstinência 9 - Ignorado []				
Conclusão do Caso	66 Se Intoxicação confirmada, qual o diagnóstico _____ CID - 10 [] [] [] [] [] []			
	67 Critério de confirmação [] 1 - Laboratorial 2 - Clínico-epidemiológico 3 - Clínico		68 Evolução do Caso [] 1 - Cura sem sequelas 2 - Cura com sequelas 3 - Óbito por intoxicação exógena 4 - Óbito por outra causa 5 - Perda de seguimento 9 - Ignorado	
	69 Data do óbito [] [] [] [] [] []		70 Comunicação de Acidente de Trabalho - CAT. [] 1 - Sim 2 - Não 3 - Não se aplica 9 - Ignorado	
71 Data do Encerramento [] [] [] [] [] []				
Informações complementares e observações				
Observações: _____ _____ _____				
Investigador	Município/Unidade de Saúde		Cod. da Unid. de Saúde	
	Nome	Função	Assinatura	
Intoxicação Exógena		Sinan NET	SVS 09/06/2005	

6 DISCUSSÃO

Tendo consciência de que vivemos numa sociedade imersa no Antropoceno, os resultados do artigo 1 revelam um país onde em nenhum momento do período de estudo o desmatamento foi interrompido ou revertido. Embora a Floresta Amazônica tenha sido “poupada” entre 2003 e 2016, não podemos dizer o mesmo de outras regiões como o Matopiba, o Cerrado e os Pampas no Rio Grande do Sul (Brasil, 2001; Maia *et al.*, 2011; Fearnside, 2017; Mello; Artaxo, 2017; Castelo *et al.*, 2018; Ramos, Anderson Arruda, 2020). Com relação à classificação de cobertura florestal apresentada no artigo, constatamos que nenhuma UF sofreu alterações em seu status, o mesmo não pode ser dito no nível municipal, com diversos municípios produtores deixando o status de preservados e chegando até ao nível de antropogênicos em menos de quarenta anos. Municípios que continham terras indígenas conseguiram resistir melhor a esta transformação, indicando como em trabalhos anteriores (Ferreira; Venticinque; Almeida, 2005; Paiva, 2017; Siani *et al.*, 2019) que os povos originários tem capacidade de preservar suas terras com níveis quase nulos de desmatamento (Terras Indígenas no Brasil, 2021a, b, c).

A partir do primeiro objetivo específico, observamos, na primeira parte da cadeia de eventos, que engloba o percentual de cobertura florestal (*per_flo*) e a área destinada à agropecuária (*per_agro*), de modo geral associações negativas muito robustas, ou seja, ao passo que o percentual de floresta diminuía em cada UF (ou município), a área destinada à agropecuária crescia na mesma proporção. Uma exceção ocorre no Rio Grande do Sul, que tem associação positiva entre estas duas variáveis, indicando que a expansão da agropecuária ocorreu em seu outro grande bioma, os Pampas (Capoane; Kuplich, 2018).

A segunda parte da cadeia de eventos abrange o aumento da área destinada à agropecuária e o consumo de agrotóxicos. O modelo com o *per_agro* como exposição e o valor absoluto do consumo de agrotóxicos (ou a taxa por área destinada à agropecuária), não mostra associações tão evidentes e fortes como o modelo da primeira parte. Nem todas as UFs apresentaram associações positivas como esperávamos (ou seja, quanto maior a área da agropecuária maior o consumo de agrotóxicos), o Espírito Santo não apresentou associação nenhuma e o Paraná exibiu uma associação negativa. É possível que outras variáveis, não abordadas no estudo possam explicar o consumo de agrotóxicos. O tipo de lavoura, o método de

aplicação destes agrotóxicos, o tipo de agrotóxico utilizado podem ser algumas destas variáveis intermediárias. Uma análise mais detalhada do perfil dos agrotóxicos e em conformidade com o segundo objetivo específico foi realizada no Artigo 2, resumida a seguir.

No período de 2009 a 2018, é inegável a tendência de alta no consumo de agrotóxicos nacionalmente e em todas as UFs pesquisadas, no entanto, para a classe Ia (extremamente tóxico) as vendas do único agrotóxico nesta classe, a parationa-metílica, praticamente foram zeradas depois de sua proibição em 2016 (Anvisa, 2016), este produto já era proibido em outros países (Garcia, Stephanie *et al.*, 2003). Já o metomil, inseticida da classe Ib (altamente tóxico), também apresentou uma redução no consumo nas UFs pesquisadas com exceção do Mato Grosso que após uma redução, no final da série retomou níveis muito semelhantes aos níveis iniciais. Após o “rebaixamento” de classe do glifosato da classe II (moderadamente tóxico) para a classe III (pouco tóxico) (ANVISA, 2019), esta classe passou a ser aquela que possui os maiores valores absolutos de vendas, o glifosato junto com o 2,4-D são os produtos mais vendidos do país (IBAMA, 2016). De modo geral, ainda que o valor absoluto do consumo de glifosato tenha aumentado, o percentual que o herbicida representa do total consumido nas principais UFs produtoras indica uma tendência de queda (exceto em São Paulo), o que pode significar uma mudança no perfil do tipo de agrotóxicos que são utilizados no Brasil. Em todos os anos de estudo existiram agrotóxicos considerados sem UF, ou seja, aqueles que foram comercializados e não sabemos onde. Estes produtos poderiam de certa forma gerar subestimação/superestimação dos resultados, percebemos que em 2009 estes apresentavam valores próximos de 20% (acima de 60.000 toneladas de ingrediente ativo), mas com o tempo estes valores reduziram e a partir de 2014 permaneceram abaixo de 10% do total (em torno de 20.000 toneladas).

O próximo passo na cadeia de eventos, conectado com o terceiro objetivo específico da tese, diz respeito à saúde humana, como estes agrotóxicos podem gerar intoxicações exógenas (IEXOs) nas populações residentes. Encontrar tais associações é o tema principal do Artigo 3. Além de expor o aumento no consumo de agrotóxicos, nosso último artigo também expõe um aumento nacional e nas UFs pesquisadas das IEXOs. Após construção de diversos modelos de regressão linear múltipla, optamos pelo modelo mais simples, apenas com estas duas variáveis (taxa de consumo de agrotóxicos por área destinada à agropecuária como exposição e o

logaritmo da taxa por cem mil habitantes de IEXOs por agrotóxicos agrícolas como desfecho), pois suspeitamos de multicolinearidade entre as demais variáveis de controle (Kleinbaum; Sullivan; Barker, 2007; Keyes; Galea, 2014; Szklo; Nieto, 2019). O modelo final encontrou, em alguma parte da série temporal, associação em cinco das nove UFs pesquisadas (TO, PI, RS, ES e MT), quatro destas associações foram positivas (o que seria o esperado) e o Mato Grosso que é o maior consumidor absoluto de agrotóxicos entre todas as UFs (Pignati *et al.*, 2017), porém não é o primeiro quando calculamos a taxa relativa a área destinada à agropecuária, apresentou associação negativa. Algumas hipóteses explicativas foram levantadas: o tipo de lavoura, que é majoritariamente de soja, milho e algodão (IBGE, 2020), diferentemente de outros estados com taxas maiores (RS e PR); outra hipótese seria o método de aplicação destes agrotóxicos; além da quantidade de trabalhadores nas lavouras mato-grossenses que poderia ser menor do que em outros lugares. Por fim, a avaliação dos dados de IEXOs do SINAN indica que ainda que os dados tenham uma completude (Pedraza, 2012) próxima de 80% (ou seja, brancos e ignorados próximos de 20% do total) nacionalmente e também nas UFs pesquisadas, o percentual de brancos e ignorados tem uma tendência de queda ao longo do período de estudo.

Nosso trabalho tem como ponto central, a cadeia de eventos iniciada pelo desmatamento e a substituição da cobertura vegetal natural geralmente por áreas destinadas à agropecuária, a instalação de lavouras e pastagens que gera o aumento no consumo de agrotóxicos e que culmina com as IEXOs, discutir está cadeia conecta-se com nosso quarto objetivo específico. Após a análise dos resultados, contatamos o primeiro elo (desmatamento e agropecuária) é o elo mais forte desta corrente, associações consistentes foram encontradas em quase todas as UFs analisadas no primeiro artigo. Vale ressaltar que a perda da floresta tropical e a “domesticação da terra” são apresentadas com indicadores do Antropoceno, especialmente durante a Grande Aceleração (Steffen *et al.*, 2015a). Já em 2015, a mudança na cobertura do solo era apresentada como uma zona de incerteza para as Fronteiras Planetárias (Steffen *et al.*, 2015b), contudo em 2023 esta faceta do Antropoceno já havia evoluído para a zona de risco (Richardson *et al.*, 2023). Infelizmente o Brasil como um todo contribuiu, entre 1985 e 2019, com mais de 800.000 km² de área desflorestada, um território maior que o Chile (durante o mesmo período, território equivalente foi convertido em área destinada à

agropecuária), colaborando de forma consistente para o cenário de mudanças climáticas que vivemos atualmente (Rattis *et al.*, 2021; Huguenin; Meirelles, 2022). Após da transformação da vegetação natural em lavoura, o modelo de agricultura brasileiro, baseado na Revolução Verde (Evenson; Gollin, 2003; Pingali, 2012; Machado; Machado Filho, 2014; Leite, 2016; Serra *et al.*, 2016; Ramos, Rodrigo Ferraz; Andrioli; Betemps, 2018), aumentou significativamente o consumo de agrotóxicos no período de estudo (2009-2018), este passo, quando comparado ao passo anterior, pode ser considerado um elo mais sensível da cadeia de eventos. Os dados sobre consumo de agrotóxicos são limitados entre 2009 e 2018, período substancialmente menor ao período dos dados sobre cobertura vegetal que variam entre 1985 e 2019, ademais não temos dados para o nível municipal e nos limitamos a dados estaduais sobre agrotóxicos. Já o elo final, entre consumo de agrotóxicos e intoxicações exógenas também está restrito ao período 2009-2018, associações positivas foram encontradas em quatro dos nove estados pesquisados. Ao expandirmos o alcance do estudo para a UF, buscamos melhorar o conhecimento sobre o consumo de agrotóxicos e suas associações com as IEXOs, geralmente avaliados em uma única cidade ou região brasileira (Santos, 2022; Carvalho *et al.*, 2022; Queiroz, *et al.*, 2020). De modo geral, IEXOs não são únicos desfechos deste conjunto de eventos e podem ser considerados apenas uma pequena parte do problema, “a ponta do iceberg”, (Medronho *et al.*, 2009; de Lara *et al.*, 2019) que afeta as populações próximas de áreas de lavouras que utilizam agrotóxicos como base de sua produção.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Resumindo os principais resultados das três vertentes da tese, de acordo com a cadeia de eventos, temos: i) em momento nenhum, o desmatamento parou ou foi revertido, de modo geral, constatamos uma diminuição da cobertura vegetal natural e um aumento da área destinada à agropecuária; ii) aumento no consumo de agrotóxicos, mas mudança do perfil de consumo com algumas proibições e a queda glifosato no percentual total; iii) aumento nas taxas de IEXOs com associação positiva com o consumo de agrotóxicos em algumas das UFs pesquisadas.

Como contribuições do estudo, podemos pensar na classificação sugerida para as UFs no primeiro artigo que pode ser adaptada e estendida para outras regiões e territórios, a contribuição para o entendimento de quais agrotóxicos estão sendo comercializados no país e em que proporção, que figura no segundo artigo. Além do melhor entendimento de como as IEXOs estão evoluindo e principalmente a comparação a nível estadual que não é muito comum neste tipo de estudo. Todas estas contribuições podem ajudar a sociedade no melhor entendimento da cadeia de eventos que estamos tentando apresentar e discutir. Descrever as tendências destes indicadores é fundamental no debate sobre o modelo de produção agrícola que estamos fomentando e quais as suas implicações para os brasileiros mais próximos e para o meio ambiente, em um mundo já tão afetado pelas mudanças climáticas e que vive o Antropoceno.

Como limitações e possibilidades, podemos citar: nos gráficos no artigo 1, foram utilizados apenas os seis níveis principais dos dados do MapBiomass. Assim sendo, a linha vermelha representa a agropecuária, no entanto temos consciência de que agricultura e pecuária representam atividades diferentes com impactos diferentes sobre a cobertura de solo. Uma análise futura poderia gerar gráficos em que estas variáveis apareçam separadas. Após o desflorestamento, qual delas aparece primeiro? Análises futuras podem adentrar em outros subníveis, como o tipo de lavoura (temporária, perene, soja ou cana), além da possibilidade de realizar pesquisas no nível municipal. Para o segundo e o terceiro artigos, uma limitação importante foi o tamanho da série temporal disponível para os dados de consumo de

agrotóxicos, que era apenas de 10 anos (2009-2018)³⁴, apesar de termos séries maiores para as IEXOs ficamos limitados a realizar o cálculo dos coeficientes apenas no período de 2009-2018. Ademais, não tínhamos dados sobre agrotóxicos em nível municipal, o que por si só já é uma limitação. Talvez o cruzamento dos dados de agrotóxicos do IBAMA com outras fontes de dados (como os Censos Agropecuários do IBGE, por exemplo) possa trazer mais robustez para pesquisas futuras. O terceiro artigo é um artigo de cunho ecológico e por isso mesmo não aponta na direção na causalidade, mas sim da associação entre variáveis. Possivelmente, não esgotamos a quantidade de variáveis que podem estar envolvidas no processo que tem por exposição o consumo de agrotóxicos e por desfecho as IEXOs, por isso a não investigação destas variáveis pode ser considerada uma limitação deste estudo. A associação negativa apresentada pelo estado do Mato Grosso em um dos modelos com apenas uma variável de exposição é um exemplo de que alguma variável não investigada (o tipo de agrotóxico utilizado e sua classe de toxicidade, o tipo de lavoura plantada, o método de aplicação e dispersão dos agrotóxicos em cada UF, quantos trabalhadores existem em cada região agrícola, por exemplo) pode estar gerando confundimento e/ou interação em nosso modelo. Ficando estes questionamentos como sugestões para pesquisas futuras.

Como autor, fiquei muito satisfeito pela escolha do objeto de estudo da tese. Já tinha trabalhado, no mestrado, com dados de sensoriamento de remoto sobre queimadas, além de dados de saúde sobre doenças respiratórias. Todavia, confesso que a magnitude, dos dados de cobertura vegetal me surpreenderam, infelizmente de forma negativa. Era perceptível que havia desmatamento o Brasil, entretanto quando começamos as análises, percebemos, em algumas regiões, uma realidade bem mais severa do que supúnhamos inicialmente. Em diversos territórios, a cobertura original simplesmente deixou de existir em quatro décadas, resultado que está bem alinhado com o conceito do Antropoceno. Aliás, o conceito de Antropoceno, muito utilizado neste trabalho, além de diversos outros como: Grande Aceleração, Revolução Verde, Transgênicos, Agroecologia, IEXOs foram conceitos

³⁴ No segundo artigo, utilizamos uma série temporal que ia de 2009 a 2020 e no terceiro artigo utilizamos para a construção do modelo a série 2009-2018. De fato, como a escrita não foi necessariamente linear, a conclusão do artigo 2 foi posterior a conclusão do artigo 3, isto possibilitou o acréscimo de mais dois anos na série do segundo artigo, o que pode gerar uma certa confusão quanto aos períodos utilizados em cada série.

que aprendi e que ficarão como legado para futuras pesquisas e para minha futura carreira como pesquisador. Aprendi muito, por exemplo, no início, não tinha a menor ideia de que o Brasil poderia ser o maior consumidor de agrotóxicos do mundo (título que o país ocupou por um período), resultado que ajuda a explicar, quais destes produtos são consumidos por aqui e em que quantidade. A decisão sobre o desfecho, as IEXOs, veio após a qualificação, pois antes estávamos com quatro possíveis desfechos. Acredito que tomamos o rumo correto e conseguimos assim gerar um terceiro artigo sobre o tema. Outra ideia que sempre permeou nossa pesquisa era de que além de descrever suas três vertentes principais (cobertura de solo, agrotóxicos e IEXOs) sempre pensávamos em conectar estes pontos e daí surgiu a ideia da cadeia de eventos que tentamos explorar neste trabalho que acredito ter sido bem realizada.

REFERÊNCIAS

- AGNEWS. AgroPages-US: Trends in the adoption of genetically engineered corn, cotton, and soybeans-Agricultural news. 2018. Disponível em: <http://news.agropages.com/News/NewsDetail---28711.htm>. Acesso em: 27 abr. 2024.
- ALBUQUERQUE, P. C. C. *et al.* Sistemas de informação em saúde e as intoxicações por agrotóxicos em Pernambuco. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 18, p. 666–678, 2015. DOI: 10.1590/1980-5497201500030012.
- ALHO, C. J. *et al.* Ameaças à biodiversidade do pantanal brasileiro pelo uso e ocupação da terra. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 22, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/BqQNwh94qn5g9kh56FZchYj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- ALMEIDA, V. E. S. *et al.* Uso de sementes geneticamente modificadas e agrotóxicos no Brasil: cultivando perigos. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 22, p. 3333–3339, 2017.
- ALMEIDA, J.; UDRY, M. **Sistemas agrícolas tradicionais no Brasil**. Área de Informação da Sede-Livro científico (ALICE). [S. l.: s. n.], 2019.
- ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *In*: PAOLETTI, M. G. (ed.). **Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes**. [S. l.]: Elsevier, 1999. p. 19–31.
- ALTIERI, M. A.; ROSSET, P.; THRUPP, L. A. The potential of agroecology to combat hunger in the developing world. **AgEcon Search**, [s. l.], v. 55, 2020. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10568/161465>. Acesso em: 15 fev. 2024.
- ALVAREZ-BERRÍOS, N. L.; AIDE, T. M. Global demand for gold is another threat for tropical forests. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 10, n. 1, 014006, 2015. DOI 10.1088/1748-9326/10/1/014006.
- ALVES, J. E. D. Antropoceno: a Era do colapso ambiental. **CEE Fiocruz**, 2020. Disponível em: <https://cee.fiocruz.br/?q=node/1106>. Acesso em: 24 ago. 2024.
- AMARANTE JUNIOR, O. P. *et al.* Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 589–593, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000400014>
- AMAZONAS, J. *et al.* Agrotóxicos utilizados no Brasil e proibidos em outros países. **Cadernos de Agroecologia**, [s. l.], v. 13, n. 1, 2018. Disponível em: <https://share.google/aMqsQNk4utGD1x6Om>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- ANVISA. Proibido uso de agrotóxicos com Parationa Metílica. 2016. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2016/proibido-uso-de-agrotoxicos-com-parationa-metilica>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ANVISA. **Resolução - RDC nº 177, de 21 de setembro de 2017**. Dispõe sobre a proibição do ingrediente ativo Paraquate em produtos agrotóxicos no país e sobre as medidas transitórias de mitigação de riscos. Disponível em: <https://share.google/H0ARgrFBoDuYLViOn>. Acesso em: 27 abr. 2025.

ANVISA. Publicada reclassificação toxicológica de agrotóxicos — Português (Brasil). 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2019/publicada-reclassificacao-toxicologica-de-agrotoxicos>. Acesso em: 25 jan. 2022.

ARANHA, A.; FREITAS, H. Anvisa atropela as próprias regras e pode voltar a autorizar agrotóxico letal. **Campanha Permanente Contra os Contra os Agrotóxicos e Pela Vida**, 17 ago. 2020. Disponível em: <https://contraosagrotoxicos.org/anvisa-atropela-as-proprias-regras-e-pode-voltar-a-autorizar-agrotoxico-letal/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

ARAÚJO, I. M. M.; OLIVEIRA, Â. G. R. C. Agronegócio e agrotóxicos: impactos à saúde dos trabalhadores agrícolas no nordeste brasileiro. **Trabalho, Educação e Saúde**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 117–129, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-7746-sol00043>.

ARAUJO, J. S. A.; DELGADO, I. F.; PAUMGARTTEN, F. J. R. Glyphosate and adverse pregnancy outcomes, a systematic review of observational studies. **BMC Public Health**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 472, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3153-3>.

ARBILLA, G. Antropoceno: os desafios de um novo mundo. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 1619–47, 2018. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/2607>. Acesso em: 20 mar. 2025.

ARDELEANU, A. *et al.* **Agri-environment**: perspectives on sustainable development. [S. l.: s. n.], 2012.

ARSHAD, Z. *et al.* The effects of deforestation and urbanization on sustainable growth in Asian countries. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 27, p. 1–22, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07507-7>.

ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 13–24, 2014. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p13-24>.

ARVOR, D. *et al.* Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. **Applied Geography**, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 702–713, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.007>.

AVELINO, E. N. Expansão da fronteira agrícola sobre o Cerrado: o mapeamento do uso da terra no município de Diamantina-MT. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 4, p. 89–101, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2018v4n0ID16085>.

AXA, C. Agricultura familiar: Quem vai ficar? **AXA**, 2 maio 2019. Disponível em: <http://axa.org.br/2019/05/agricultura-familiar-quem-vai-ficar/>. Acesso em: 26 abr. 2024.

BAIN, C. *et al.* 'Superweeds' or 'survivors'? Framing the problem of glyphosate resistant weeds and genetically engineered crops. **Journal of Rural Studies**, [s. l.], v. 51, p. 211–221, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.03.003>.

BAIRD, C. **Chemistry in your life**. 2nd. ed. New York: W.H. Freeman, 2006.

BALDERACCHI, M. *et al.* Groundwater Pollution and Quality Monitoring Approaches at the European Level. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 43, n. 4, p. 323–408, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.604259>.

BAMPI, A. C. *et al.* Expansão da fronteira agrícola capitalista no Baixo Araguaia Brasileiro (MT): alterações ambientais e conflitos socio-territoriais. **Estudios Socioterritoriales**, [s. l.], n. 21, p. 29–45, 2017. Disponível em: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1853-43922017000100003. Acesso em: 26 abr. 2024.

BARBER, C. P. *et al.* Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. **Biological Conservation**, [s. l.], v. 177, p. 203–209, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.004>.

BARBOSA, K. S.; LEHFELD, L. S. A atemporalidade da tela de Johann Moritz Rugendas em relação ao desmatamento na Mata Atlântica. **Colóquio Internacional de Direito e Literatura**, Santa Maria, p. 514–532, 2018. Disponível em: <https://periodicos.rdl.org.br/anacidil/article/view/357>. Acesso em: 26 abr. 2024.

BARBOSA, L. C. A. **Os pesticidas, o homem e o meio ambiente**. Viçosa: UFV, 2004.

BARRETO, M. P. A mata atlântica e o ensino de história: da pré-história ao período colonial brasileiro. **Movimento-Revista de Educação**, Niterói, n. 6, p. 272–305, 2017. Disponível em: <https://share.google/NweJGawpiv5R987iP>. Acesso em: 26 abr. 2024.

BELL, L. W.; MOORE, A. D.; KIRKEGAARD, J. A. Evolution in crop–livestock integration systems that improve farm productivity and environmental performance in Australia. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 57, p. 10–20, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.04.007>.

BELPOMME, D. *et al.* The multitude and diversity of environmental carcinogens. **Environmental Research**, [s. l.], v. 105, n. 3, p. 414–429, 2007. DOI: [10.1016/j.envres.2007.07.002](https://doi.org/10.1016/j.envres.2007.07.002).

BENBROOK, C. M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. **Environmental Sciences Europe**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 1–15, 2016.

BOCHNER, R. Perfil das intoxicações em adolescentes no Brasil no período de 1999 a 2001. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, p. 587–595, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006000300014>.

BONNY, S. Genetically modified herbicide-tolerant crops, weeds, and herbicides: overview and impact. **Environmental Management**, [s. l.], v. 57, n. 1, p. 31–48, 2016. DOI: 10.1007/s00267-015-0589-7.

BONVOISIN, T. *et al.* Suicide by pesticide poisoning in India: a review of pesticide regulations and their impact on suicide trends. **BMC Public Health**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 1–16, 2020. DOI: 10.1186/s12889-020-8339-z.

BONZI, R. S. Meio século de Primavera silenciosa: um livro que mudou o mundo. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 28, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5380/dma.v28i0.31007>.

BORJA-ABURTO, V. H. Estudios ecológicos. **Salud Pública de México**, [s. l.], v. 42, p. 533–538, 2000.

BORSARI, B. De los agronegocios a la agroecología y la transición hacia un sistema alimentario sostenible en Panamá. **Investigación y Pensamiento Crítico**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 48–62, 2024. DOI: <https://doi.org/10.37387/ipc.v12i1.375>.

BORSOI, A. *et al.* Agrotóxicos: histórico, atualidades e meio ambiente. **Acta Iguazu**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 86–100, 2014. DOI: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v3i1.9650>.

BRAIBANTE, M. E. F.; ZAPPE, J. A. A química dos agrotóxicos. **Química Nova na Escola**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 10–15, 2012. Disponível em: https://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc34_1/03-QS-02-11.pdf. Acesso em: 26 fev. 2025.

BRANCO, M. A. F. Sistemas de informação em saúde no nível local. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 267–270, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1996000200016>.

BRANCO, S. M. **Natureza e agroquímicos**. 3. ed. [S. l.]: Moderna, 2013.

BRANDÃO JR, A. O.; SOUZA JR, C. M. Mapping unofficial roads with Landsat images: a new tool to improve the monitoring of the Brazilian Amazon rainforest. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 177–189, 2006. <https://doi.org/10.1080/01431160500353841>.

BRASIL. Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 30 nov. 1964. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/14504.htm. Acesso em: 23 abr. 2025.

BRASIL. Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 18055, 20 set. 1990. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm. Acesso em: 23 abr. 2025.

BRASIL. Lei nº 10.216, de 6 de abril de 2001. Dispõe sobre a proteção e os direitos das pessoas portadoras de transtornos mentais e redireciona o modelo assistencial em saúde mental. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 2, 9 abr. 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10216.htm. Acesso em: 23 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Sistema de Informação de Agravos de Notificação Ficha de Investigação Intoxicação Exógena**. [Brasília]: Ministério da Saúde, 2005. Disponível em: http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Agravos/iexog/Intoxicacao_Exogena_v5.pdf. Acesso em: 26 fev. 2025.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para um desenvolvimento sustentável**. Brasília: Ministério das Relações Exteriores, 2016. Disponível em: https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/brasil_amigo_pesso_idosa/Agenda2030.pdf. Acesso em: 23 abr. 2025.

BRASIL. Decreto nº 9.064, de 31 de maio de 2017. Dispõe sobre a Unidade Familiar de Produção Agrária, institui o Cadastro Nacional da Agricultura Familiar e regulamenta a Lei no 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e empreendimentos familiares rurais. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 31 maio 2017a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D9064.htm. Acesso em: 23 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diretrizes Nacionais para a Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2017b. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_vigilancia_populacoes_expostas_agrotoxicos.pdf. Acesso em: 11 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Instruções para preenchimento da Ficha de Investigação de Intoxicação Exógena Sinan – Sistema de Informação de Agravos de Notificação**. Brasília: Ministério da Saúde, 2018. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/intoxicacao_exogena_sinan.pdf. Acesso em: 24 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância em Saúde das Populações Expostas a Agrotóxicos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa/saude-do-trabalhador/renast/vspea>. Acesso em: 11 mar. 2025.

BRITO, J. G. S.; MACIEL, B. A. Agricultura familiar, agroecologia e desenvolvimento sustentável: análise fotográfica da revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável-EMATER/RS. **RELACult** : Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade, Foz do Iguaçu, v. 2, n. 4, p. 466–484, 2016. DOI: <https://doi.org/10.23899/relacult.v2i4.254>.

BRUENING, G.; LYONS, J. The case of the FLAVR SAVR tomato. **California Agriculture**, [s. l.], v. 54, n. 4, p. 6–7, 2000. Disponível em: <https://californiaagriculture.org/article/109700-the-case-of-the-flavr-savr-tomato>. Acesso em: 11 mar. 2025.

CABRAL, D. D. C.; CESCO, S. Notas para uma história da exploração madeireira na Mata Atlântica do sul-sudeste. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 33–48, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2008000100004>.

CALDAS, E. D. Pesticide poisoning in Brazil. *In*: REFERENCE Module in Earth Systems and Environmental Sciences. [S. l.]: Elsevier, 2016. v. 10. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10282-9.

CAMBRIDGE DICIONARY. commodity. 20 abr. 2021a. Disponível em: <https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/commodity>. Acesso em: 26 abr. 2025.

CAMBRIDGE DICIONARY. logging. 26 abr. 2021b. Disponível em: <https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/logging>. Acesso em: 26 abr. 2025.

CAMPBELL, B. M. *et al.* Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. **Ecology and Society**, [s. l.], v. 22, n. 4, 2017.

CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. **Introduction to remote sensing**. 5th. ed. New York: Guilford Press, 2011.

CANAL RURAL. Proibição do uso do paraquat a partir de setembro preocupa produtores. **Canal Rural**, 27 maio 2020a. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/proibicao-do-uso-do-paraquat-a-partir-de-setembro-preocupa-produtores/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

CANAL RURAL. Soja pode ter prejuízo de R\$ 500 mi ao ano sem o paraquat, diz Aprosoja. **Canal Rural**, 9 fev. 2020b. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/programas/informacao/direto-ao-ponto/soja-pode-ter-prejuizo-de-r-500-mi-ao-ano-sem-o-paraquat-diz-aprosoja/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

CAPOANE, V.; KUPLICH, T. M. Expansão da agricultura no bioma Pampa. *In*: REUNIÃO DE ESTUDOS AMBIENTAIS, 8., 2018, Porto Alegre. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2018.

CARNEIRO, F. F. **Dossiê Abrasco**: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. [Rio de Janeiro]: EPSJV: Expressão Popular, 2015. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/26221>. Acesso em: 26 abr. 2021.

CARSON, R. **Primavera silenciosa**. [S. l.]: Melhoramentos, 1964.

CARVALHO, M. M. X.; NODARI, E. S.; NODARI, R. O. “Defensivos” ou “agrotóxicos”? História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 75–91, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702017000100002>.

CARVALHO, K. P. *et al.* Intoxicações exógenas por agrotóxicos no Espírito Santo, 2007-2016: distribuição espacial e tendências da taxa de incidência e letalidade dos casos notificados. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 31, n. 2, p. e2021424, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/s2237-96222022000200008>.

CASTELO, T. B. *et al.* Governos e mudanças nas políticas de combate ao desmatamento na Amazônia. **Revibec: Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica**, Rio de Janeiro, v. 28, p. 0125–0148, 2018.

CCI/ENSP. Brasil ainda utiliza pesticidas condenados pela OMS. **Informe ENSP**, 2015. Disponível em: <http://informe.ensp.fiocruz.br/noticias/37426>. Acesso em: 27 abr. 2021.

CERDEIRA, A. L.; DUKE, S. O. The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops: a review. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 1633–1658, 2006. DOI: 10.2134/jeq2005.0378.

CHAIM, A. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos: fatores que afetam a eficiência e o impacto ambiental. *In*: SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F. (ed.). **Agrotóxicos e ambiente**. Brasília: Embrapa, 2004. p. 289–317.

CHAKRABORTY, D. *et al.* Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 95, n. 12, p. 1323–1334, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.001>.

CHING, L. L. Agroecology for sustainable food systems. **Environment and Development Series**, [s. l.], v. 19, 2018.

COBAITO, F. C.; COBAITO, V. Q. Sistema Único de Saúde–SUS: a gênese, contemporaneidade, e os desafios do amanhã. **Revista Perspectiva: Ciência e Saúde**, Osório, v. 5, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18616/inova.v12i1.6026>.

COHEN, S. N. Construction of biologically functional bacterial plasmids in vitro. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 70, n. 11, p. 3240–3244, 1973.

COLETTA, V. Environmental resources conservation through sustainable forest management. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, [s. l.], v. 223, p. 758–763, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.264>.

COSTA; FRIAS, P. G. Avaliação da completitude das variáveis da Declaração de Nascido Vivo de residentes em Pernambuco, Brasil, 1996 a 2005. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 25, p. 613–624, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2009000300016>.

COSTA, M. B. B. *et al.* Agroecology development in Brazil between 1970 and 2015. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 41, n. 3–4, p. 276–295, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1285382>.

CRUTZEN, P. J. The “anthropocene”. In: EHLERS, E.; KRAFFT, T. (ed.). **Earth system science in the anthropocene: emerging issues and problems**. [S. l.]: Springer, 2006.

CURTIS, P. G. *et al.* Classifying drivers of global forest loss. **Science**, Washington, DC, v. 361, n. 6407, p. 1108–1111, 2018. DOI: [10.1126/science.aau3445](https://doi.org/10.1126/science.aau3445).

CURVO, H. R. M.; PIGNATI, W. A.; PIGNATTI, M. G. Morbimortalidade por câncer infantojuvenil associada ao uso agrícola de agrotóxicos no Estado de Mato Grosso, Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 10–17, 2013.

D'AMATO, C.; TORRES, J. P.; MALM, O. DDT (dicloro difenil tricloroetano): toxicidade e contaminação ambiental-uma revisão. **Química Nova**, Campinas, v. 25, n. 6a, p. 995–1002, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000600017>.

DATASUS. 2008. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0901>. Acesso em: 28 abr. 2024.

DAUBENMIRE, P. L. Genetically Modified Organisms as a Food Source: History, Controversy, and Hope. In: EGGLESTON, G.; ORNA, M. V.; BOPP, A. F. (ed.). **Chemistry's Role in Food Production and Sustainability: Past and Present**. [S. l.]: ACS Publications, 2019. p. 203–209.

DHAS, S.; SRIVASTAVA, M. An Assessment of Carbaryl Residues on Brinjal Crop in an Agricultural Field in Bikaner, Rajasthan (India). **Asian Journal of Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 15-17, 2010.

DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS. Commodity. **Dicio**, 26 abr. 2021a. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/commodity/>. Acesso em: 26 abr. 2025.

DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS. Edáfico. **Dicio**, 2021b. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/edafico/>. Acesso em: 26 abr. 2025.

DITLEVSEN, P. D.; SVENSMARK, H.; JOHNSEN, S. Contrasting atmospheric and climate dynamics of the last-glacial and Holocene periods. **Nature**, London, v. 379, n. 6568, p. 810–812, 1996.

DRUMMOND, J. A. Mata Atlântica: a história de uma destruição. **Revista Estudos Históricos**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 17, p. 239–252, 1996.

DUARTE, E.; EBLE, L. J.; GARCIA, L. P. 30 anos do Sistema Único de Saúde. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 27, e00100018, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5123/s1679-49742018000100018>.

DUARTE, M. L. Padrões e causas do desmatamento no Baixo Acre, região oeste da Amazônia brasileira. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 5, n. 1, p. 117–127, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2790.117-127>.

DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science**, [s. l.], v. 64, n. 4, p. 319–325, 2008. DOI: 10.1002/ps.1518.

ELLRAM, L. M.; TATE, W. L. The use of secondary data in purchasing and supply management (P/SM) research. **Journal of Purchasing and Supply Management**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 250–254, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2016.08.005>.

EMBRAPA. **Adubação verde com leguminosas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. (Coleção Saber). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/117975/1/00076310.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.

EMBRAPA. Rotação de culturas. **Circular Técnica**, Londrina, n. 45, 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/470323/rotacao-de-culturas>. Acesso em: 27 abr. 2025.

EMBRAPA. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. **Documentos**, Londrina, n. 327, 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/897259/importancia-da-rotacao-de-culturas-para-a-producao-agricola-sustentavel-no-parana>. Acesso em: 27 abr. 2025.

EMBRAPA. **Sistemas agroflorestais**: princípios básicos. [Manaus]: Embrapa, 2013. (Série Técnica de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 25). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/669177/sistemas-agroflorestais-principios-basicos>. Acesso em: 27 abr. 2025.

EMBRAPA. Plantas de cobertura: O que é isto? **Embrapa**, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28512796/artigo---plantas-de-cobertura-o-que-e-isto>. Acesso em: 27 abr. 2025.

EMBRAPA. **Sistemas agrícolas tradicionais no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1109452/sistemas-agricolas-tradicionais-no-brasil>. Acesso em: 27 abr. 2025.

EMBRAPA. Grãos. **Embrapa**, 2021a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/graos>. Acesso em: 26 abr. 2025.

EMBRAPA. Matopiba. **Embrapa**, 2021b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-matopiba>. Acesso em: 26 abr. 2025.

EMBRAPA. Sistemas Agroflorestais - SAFs. **Embrapa**, 2021c. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/sistemas-agroflorestais-safs>. Acesso em: 27 abr. 2025.

EMBRAPA. Trajetória da agricultura brasileira. **Embrapa**, 2021d. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 26 abr. 2025.

ENSP. Agrotóxicos deixam um rastro de doenças e mortes pelo Brasil. **Cesteh ENSP**, 2019. Disponível em: <http://www.cesteh.ensp.fiocruz.br/noticias/agrotoxicos-deixam-um-rastro-de-doencas-e-mortes-pelo-brasil>. Acesso em: 27 abr. 2025.

ESPÍNDOLA, J. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M. Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica. **Documentos**, Seropédica, n. 174, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/627829/1/doc174.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.

EVENSON, R. E.; GOLLIN, D. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. **Science**, Washington, DC, v. 300, n. 5620, p. 758–762, 2003. DOI: 10.1126/science.1078710.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2003. Disponível em: <http://www.fao.org/home/en/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Pesticide use and trade (1990-2022), n. 89. [S. l.]: FAO, 2024. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a8a8c2c8-ee36-42e8-a619-7e73c8daf8a6/content>. Acesso em: 5 mar. 2025.

FAO. SOFI 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition>. Acesso em: 27 abr. 2025.

FARIA, N. M. X.; FASSA, A. G.; FACCHINI, L. A. Intoxicação por agrotóxicos no Brasil: os sistemas oficiais de informação e desafios para realização de estudos epidemiológicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 25-38, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100008>.

FEARNSIDE, P. M. Como sempre, os negócios: o ressurgimento do desmatamento na Amazônia brasileira. In: FEARNSIDE, P. M. (ed.). **Destruição e conservação da Floresta Amazônica**. Manaus: Editora do INPA, 2017. v. 1.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 157–166, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100010>.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. [S. l.]: Oficina de Textos, 2007.

FLORES, A. V. *et al.* Organoclorados: um problema de saúde pública. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 111–124, 2004.

FRANCHINI, J. C. *et al.* Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. **Documentos**, Londrina, n. 327, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/897259>. Acesso em: 27 abr. 2025.

FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. **Glyphosate**: a unique global herbicide. [S. l.]: American Chemical Society, 1997.

FRIAS, P. G. *et al.* Avaliação da cobertura do Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos e a contribuição das fontes potenciais de notificação do nascimento em dois municípios de Pernambuco, Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 16, n. 2, p. 93–101, 2007.

FRIEDRICH, K. Desafios para a avaliação toxicológica de agrotóxicos no Brasil: desregulação endócrina e imunotoxicidade. **Revista Visa em Debate**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 2–15, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3395/vd.v1n2.30>.

FRITSCHI, L. *et al.* Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. **Red**, [s. l.], v. 114, n. 2, p. 70134–8, 2015.

GABOARDI, S. C.; CANDIOTTO, L. Z. O caráter interdisciplinar e o potencial transformador da agroecologia. *In*: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 11., 2015. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2015. p. 6744–6757.

GARCIA, A. S.; BALLESTER, M. V. R. Land cover and land use changes in a Brazilian Cerrado landscape: drivers, processes, and patterns. **Journal of Land Use Science**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 538–559, 2016.

GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. A questão ambiental ea expansão da fronteira agrícola na direção do Matopiba brasileiro. **Texto para Discussão**, [s. l.], 2017.

GARCIA, S. *et al.* Methyl Parathion: A Review of Health Effects. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, Part B, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 185–210, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/10937400306471>.

GILLEZEAU, C. *et al.* The evidence of human exposure to glyphosate: a review. **Environmental Health**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0435-5>.

GLIESSMAN, S. **Transforming food systems with agroecology**. [S. l.]: Taylor & Francis, 2016.

GONÇALVES, C. D. F. *et al.* Disseminando práticas sustentáveis na região do cariri paraibano. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 5, n. 11, p. 26541–26547, 2019. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-284>.

GOOGLE EARTH ENGINE. 2021. Disponível em: <https://earthengine.google.com>. Acesso em: 28 abr. 2021.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 202, p. 18–27, 2017.

GRASER, A. **Learning QGIS**: the latest guide to using QGIS 2.14 to create maps and perform geoprocessing tasks with ease. 3rd. ed. Birmingham Mumbai: Packt Publishing, 2016. (Community experience distilled).

GRAZIANO NETO, F. **Questão agrária e ecologia**: crítica da moderna agricultura. São Paulo: Brasiliense, 1985.

GUAZZELLI, M. J. Brasil: O maior consumidor de agrotóxicos agrícolas. Entrevista especial com Maria José Guazzelli. **Biodiversidad en América Latina**, 2009. Disponível em: https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Brasil_O_maior_consumidor_de_agrotoxicos_agricolas_Entrevista_especial_com_Maria_Jose_Guazzelli. Acesso em: 26 abr. 2021.

HACKER, R. B. *et al.* Evolution of mixed farming systems for the delivery of triple bottom line outcomes: a synthesis of the Grain & Graze program. **Animal Production Science**, [s. l.], v. 49, n. 10, p. 966–974, 2009.

HARAWAY, D. Antropoceno, capitaloceno, plantationoceno, chthuluceno: fazendo parentes. **ClimaCom Cultura Científica**, [s. l.], v. 3, n. 5, p. 139–146, 2016.

HATT, S. *et al.* Towards sustainable food systems: the concept of agroecology and how it questions current research practices. A review. **Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement**, [s. l.], v. 20, n. spe. 1, p. 215–224, 2016.

HERITAGE AUCTIONS. Rachel Carson. Silent Spring. Houghton Mifflin, 1962. First | Lot #93194. 2021. Heritage Auctions. Disponível em: <https://historical.ha.com/itm/books/natural-history-books-and-prints/rachel-carson-silent-spring-houghton-mifflin-1962-first-edition-publisher-s-cloth-and-dust-jacket/a/201316-93194.s>. Acesso em: 26 abr. 2021.

HESS, S. C. **Ensaio sobre poluição e doenças no Brasil**. [S. l.]: Outras Expressões, 2018.

HOU, F. J. *et al.* Integrated crop-livestock production systems in China. **The Rangeland Journal**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 221–231, 2008.

HUGUENIN, L.; MEIRELLES, R. M. S. D. Do período colonial à COP26: breve resgate histórico sobre as mudanças climáticas relacionadas ao uso da terra no Brasil. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, [s. l.], v. 17, n. 5, p. 132–149, 1 out. 2022. DOI: <https://doi.org/10.34024/revbea.2022.v15.13930>.

IBAMA. Relatórios de comercialização de agrotóxicos. **Ibama**, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em: 27 abr. 2021.

IBGE. Áreas Territoriais. **IBGE**, 26 abr. 2021a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 20 jul. 2022.

IBGE. Censo Agro 2017. **IBGE**, 2021b. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/2012-agencia-de-noticias/noticias/25786-em-11-anos-agricultura-familiar-perde-9-5-dos-estabelecimentos-e-2-2-milhoes-de-postos-de-trabalho.html>. Acesso em: 21 jul. 2024.

IBGE. População brasileira deve chegar ao máximo (228,4 milhões) em 2042. **Agência de Notícias IBGE**, 2013. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14462-asi-populacao-brasileira-deve-chegar-ao-maximo-2284-milhoes-em-2042>. Acesso em: 28 abr. 2025.

IBGE. População do Brasil. **IBGE**, 26 abr. 2021c. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/box_popclock.php. Acesso em: 20 jul. 2024.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal (PAM) 2019**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=766>. Acesso em: 23 abr. 2024.

IBGE. Rondônia | Cidades e Estados. **IBGE**, 2021d. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ro.html>. Acesso em: 26 abr. 2021.

IBGE EDUCA. Biomas brasileiros | Educa | Jovens. **IBGE**, 2021. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>. Acesso em: 26 abr. 2021.

INPE. Spring. 2021. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: 28 abr. 2021.

IPAM. IPAM Amazônia | Arco do desmatamento. **IPAM**, 2015. Disponível em: <https://ipam.org.br/glossario/arco-do-desmatamento/>. Acesso em: 26 abr. 2021.

JARDIM, I. C. S. F.; ANDRADE, J. A.; QUEIROZ, S. C. N. Resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global-Um enfoque às maçãs. **Química Nova**, Campinas, v. 32, n. 4, p. 996–1012, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000400031>.

JOHNSTON, M. P. Secondary data analysis: a method of which the time has come. **Qualitative and Quantitative Methods in Libraries**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 619–626, 2014. Disponível em: <https://www.qqml-journal.net/index.php/qqml/article/view/169>. Acesso em: 23 abr. 2024.

JORGE, M. H. P. M.; LAURENTI, R.; GOTLIEB, S. L. D. Análise da qualidade das estatísticas vitais brasileiras: a experiência de implantação do SIM e do SINASC. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 643–654, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000300014>.

JUNG, M. *et al.* Association between chronic exposure to pesticide and suicide. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 61, n. 4, p. 314–317, 2019.

KADER, M. A. *et al.* Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 168, p. 155–166, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.001>.

KASTENS, J. H. *et al.* Soy moratorium impacts on soybean and deforestation dynamics in Mato Grosso, Brazil. **PloS One**, San Francisco, v. 12, n. 4, e0176168, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176168>.

KEYES, K. M.; GALEA, S. **Epidemiology matters**: a new introduction to methodological foundations. Oxford: Oxford University Press, 2014.

KLEINBAUM, D. G.; SULLIVAN, K. M.; BARKER, N. D. **A pocket guide to epidemiology**. New York: Springer, 2007.

KLEINSCHROTH, F.; HEALEY, J. R. Impacts of logging roads on tropical forests. **Biotropica**, [s. l.], v. 49, n. 5, p. 620–635, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12462>.

KOH, D.; JEYARATNAM, J. Pesticides hazards in developing countries. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 188, n. 1, p. S78, 1996.

LARA, S. S. *et al.* A agricultura do agronegócio e sua relação com a intoxicação aguda por agrotóxicos no Brasil. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, [s. l.], v. 15, n. 32, p. 1–19, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/Hygeia153246822>.

LEAL, M.; MANIESI, V. Dinâmica de desflorestamento nos assentamentos extrativistas do município de Humaitá, Amazonas. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, [s. l.], n. 14, p. 251, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.17127/got/2018.14.010>.

LEFF, E. Agroecologia e saber ambiental. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 36–51, 2002. Disponível em: <https://share.google/BATlWqBvMNaH88xjK>. Acesso em: 20 mar. 2025.

LEITE, R. M. Resenha: Dialética da agroecologia. **Revista Geonordeste**, [s. l.], v. 1, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufs.br/geonordeste/article/view/4337>. Acesso em: 20 mar. 2025.

LESS, F. R.; LESS, D. F. S.; SZLAFSZTEIN, C. F. Análise da relação entre o crescimento populacional e o desmatamento no estado do Amapá, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 344–356, 2018. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.006.0032>.

LIEBERMAN, D. E. **A história do corpo humano**: evolução, saúde e doença. Rio de Janeiro: Zahar, 2015.

LONDON, L.; BAILIE, R. Challenges for improving surveillance for pesticide poisoning: policy implications for developing countries. **International Journal of Epidemiology**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 564–570, 2001. DOI: 10.1093/ije/30.3.564.

LOPES, A. C. É possível produzir alimentos para o Brasil sem agrotóxicos? **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 69, n. 4, p. 52–55, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602017000400016>.

LUTZENBERGER, J. A. **Fim do futuro?**: manifesto ecológico brasileiro. [S. l.]: Editora Movimento, 1976.

LYTLE, M. H. **The gentle subversive**: Rachel Carson, Silent Spring, and the rise of the environmental movement. [S. l.]: Oxford University Press, 2007.

MACEDO, J. L. V. **Sistemas agroflorestais**: princípios básicos. [Manaus]: Embrapa, 2013. (Série Técnica de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 25).

MACHADO, L. C. P.; MACHADO FILHO, L. C. P. **Dialética da agroecologia**. São Paulo: Editora Expressão Popular, 2014.

MACINKO, J.; HARRIS, M. J. Brazil's family health strategy—delivering community-based primary care in a universal health system. **New England Journal of Medicine**, London, v. 372, n. 23, p. 2177–81, 2015. DOI: 10.1056/NEJMp1501140.

MAIA, H. *et al.* Avaliação do Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal: PPCDAm: 2007-2010. *In*: SEMINÁRIO DE AVALIAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO PARA PREVENÇÃO E CONTROLE DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL - (PPCDAm), 2011, Brasília, DF. **Apresentação** [...]. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/885>. Acesso em: 10 jun. 2024.

MAITRA, S. *et al.* Green manures in agriculture: a review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, [s. l.], v. 7, n. 5, p. 1319–1327, 2018. Disponível em: <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue5/PartW/7-4-660-680.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

MALASPINA, F. G.; ZINILISE, M. L.; BUENO, P. C. Perfil epidemiológico das intoxicações por agrotóxicos no Brasil, no período de 1995 a 2010. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 425–434, 2011.

MALTA, M. *et al.* STROBE initiative: guidelines on reporting observational studies. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 44, p. 559–565, 2010. DOI: 10.1590/s0034-89102010000300021.

MAPBIOMAS. Mapbiomas Brasil. 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

MARQUES, L. Atlas do envenenamento alimentar no Brasil. **Jornal da Unicamp**, 2017. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/luiz-marques/atlas-do-envenenamento-alimentar-no-brasil>. Acesso em: 27 abr. 2025.

MATA NATIVA. Sistemas Agroflorestais. 6 dez. 2017. Software Mata Nativa 4. Disponível em: <https://www.matanativa.com.br/sistemas-agroflorestais/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

MATIAS, M. I. A. S. *et al.* Núcleo de Estudos em Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável do Baixo Sul. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 53615–53626, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/14256/11874>. Acesso em: 27 abr. 2025.

MAURANO, L. E. P.; ESCADA, M. I. S. Comparação dos dados produzidos pelo PRODES versus dados do MapBiomas para o bioma Amazônia. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais [...]**. [S. l.]: INPE, 2019.

MEDRONHO, R. A. *et al.* (org.). **Epidemiologia**. São Paulo: Atheneu, 2009.

MELLO JORGE, M. H. P.; LAURENTI, R.; GOTLIEB, S. L. D. Avaliação dos sistemas de informação em saúde no Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 07–18, 2010.

MELLO, N. G. R.; ARTAXO, P. Evolução do plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, São Paulo, n. 66, p. 108–129, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i66p108-129>.

MENZORI, M. **Georreferenciamento**: conceitos. [S. l.]: Editora Baraúna, 2017.

MEW, E. J. *et al.* The global burden of fatal self-poisoning with pesticides 2006-15: systematic review. **Journal of Affective Disorders**, [s. l.], v. 219, p. 93–104, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.05.002>.

MOLNAR, C. **Interpretable machine learning**. [S. l.: s. n.], 2020.

MOORE, R. T.; HANSEN, M. C. Google Earth Engine: a new cloud-computing platform for global-scale earth observation data and analysis. **AGU Fall Meeting Abstracts [...]**. [S. l.: s. n.], 2011. p. IN43C-02.

MORAES, A. *et al.* Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 57, p. 4–9, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.004>.

MORAES, I. H. S.; SANTOS, S. R. F. R. Informações para a gestão do SUS: necessidades e perspectivas. **Informe Epidemiológico do SUS**, Brasília, 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.5123/S0104-16732001000100006>.

MORGENSTERN, H. Ecologic studies in epidemiology: concepts, principles, and methods. **Annual Review of Public Health**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 61–81, 1995.

MST. A quem interessa a pulverização aérea de agrotóxicos nos territórios? **MST**, 19 maio 2020a. Disponível em: <https://mst.org.br/2020/05/19/a-quem-interessa-a-pulverizacao-aerea-de-agrotoxicos-nos-territorios/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

MST. Califórnia classifica herbicida Roundup como cancerígeno. **MST**, 28 set. 2015. Disponível em: <https://mst.org.br/2015/09/28/california-classifica-herbicida-roundup-como-cancerigeno/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

MST. Campanha Contra os Agrotóxicos debate banimento do Paraquat online. **MST**, 4 ago. 2020b. Disponível em: <https://mst.org.br/2020/08/04/campanha-contra-os-agrotoxicos-debate-banimento-do-paraquat-online/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

MYERS, S. S. *et al.* Human health impacts of ecosystem alteration. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 110, n. 47, p. 18753–18760, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1218656110>.

MYERS, S. S. Planetary health: protecting human health on a rapidly changing planet. **The Lancet**, London, v. 390, n. 10114, p. 2860–2868, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32846-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32846-5).

NASH, K. L. *et al.* Planetary boundaries for a blue planet. **Nature Ecology & Evolution**, [s. l.], v. 1, n. 11, p. 1625–1634, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0319-z>. Acesso em: 20 mar. 2025.

NASRALA NETO, E.; LACAZ, F. A. C.; PIGNATI, W. A. Vigilância em saúde e agronegócio: os impactos dos agrotóxicos na saúde e no ambiente. Perigo à vista! **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 4709-4718, 2014.

NATHANIEL, S. P.; BEKUN, F. V. Environmental management amidst energy use, urbanization, trade openness, and deforestation: The Nigerian experience. **Journal of Public Affairs**, [s. l.], v. 20, n. 2, e2037, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/pa.2037>.

NATIONAL CANCER INSTITUTE. Joinpoint trend Analysis Software. 22 jun. 2023. Disponível em: <https://surveillance.cancer.gov/joinpoint/>. Acesso em: 24 fev. 2024.

NEPSTAD, D. C. *et al.* Land-use in Amazonia and the cerrado of Brazil. **Ciência e Cultura**: Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science, [s. l.], v. 49, n. 1/2, 1997.

NORDER, L. A. *et al.* Agroecologia: polissemia, pluralismo e controvérsias. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 1–20, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC129711V1932016>.

NUVENS de veneno. Direção e roteiro: Beto Novaes. Produção: Terra Firme, VideoSaúde e MP2 Produções. [S. l.]: VideoSaúde, 2013. 1 vídeo (22 min.). Publicado pelo canal VideoSaúde Distribuidora da Fiocruz. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jZ1QUAXFaxs>. Acesso em: 24 fev. 2024.

OLIVEIRA, M. L. F. *et al.* Sistema de Notificação de Intoxicações: desafios e dilemas. *In*: PERES, F.; MOREIRA, J. C. (org.). **É veneno ou é remédio?**: agrotóxicos, saúde e ambiente. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003. cap. 13.

OLIVEIRA, N. P. *et al.* A. Malformações congênitas em municípios de grande utilização de agrotóxicos em Mato Grosso, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 4123-4130, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-812320141910.08512014>.

OLIVEIRA-SILVA, J. J.; MEYER, A. O sistema de notificação das intoxicações: o fluxograma da joieira. *In*: PERES, F.; MOREIRA, J. C. (org.). **É veneno ou é remédio?**: agrotóxicos, saúde e ambiente. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003. p. 317–326.

ONU. UN General Assembly - Legal - Sixth Committee. 2013. Disponível em: <https://www.un.org/en/ga/sixth/68/UnivJur.shtml>. Acesso em: 27 abr. 2021.

ONU BRASIL. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **Nações Unidas no Brasil**, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 27 abr. 2021.

OPAS (org.). **Indicadores básicos para a saúde no Brasil**: conceitos e aplicações. 2. ed. Brasília: OPAS, 2008.

OPAS. **Manual de vigilância da saúde de populações expostas a agrotóxicos**. Brasília: OPAS: OMS, 1996.

PACHECO, L. P. *et al.* Phytomass production and micronutrient cycling by cover crops in the Brazilian cerrado of Goiás. **Comunicata Scientiae**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 12-18, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v9i1.1094>.

PAIVA, R. J. O. **O papel das áreas protegidas na contenção do desmatamento no bioma Cerrado**. 2017. 278 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/23580>. Acesso em: 10 jun. 2025.

PARDON, P. *et al.* Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 247, p. 98–111, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.018>.

PEDRAZA, D. F. Qualidade do Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos (Sinasc): análise crítica da literatura. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 10, p. 2729-2737, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012001000021>.

PEREIRA, E. M. Fim do futuro? O tempo no manifesto ecológico brasileiro de José Lutzenberger. *In*: ENCONTRO ESTADUAL DE HISTÓRIA, 11., 2012, Rio Grande. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2012.

PEREIRA, L. I.; PAULI, L. O processo de estrangeirização da terra e expansão do agronegócio na região do Matopiba. **Revista Campo-Território**, Uberlândia, v. 11, n. 23, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCT112307>.

PERES, F.; MOREIRA, J. C. (org.). **É veneno ou é remédio?: agrotóxicos, saúde e ambiente**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003.

PESHIN, R.; ZHANG, W. Integrated pest management and pesticide use. *In*: PESHIN, R.; PIMENTEL, D. (ed.). **Integrated pest management**. [S. l.]: Springer, 2014. p. 1–46.

PICCOLO, D. M. Qualidade de dados dos sistemas de informação do Datasus: análise crítica da literatura. **Ciência da Informação em Revista**, Maceió, v. 5, n. 3, p. 13–19, 2018. DOI: <https://doi.org/10.28998/cirev.%25y513-19>.

PIGNATI, W. A. *et al.* Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 22, p. 3281–3293, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-812320172210.17742017>.

PIGNATI, W. *et al.* Saúde do trabalhador. *In*: ROUQUAYROL, M. Z.; SILVA, M. G. C. (org.). **Epidemiologia & Saúde**. 7. ed. Rio de Janeiro: MedBook, 2013. p. 355–381.

PIGNATI, W.; OLIVEIRA, N. P.; SILVA, A. M. C. Vigilância aos agrotóxicos: quantificação do uso e previsão de impactos na saúde-trabalho-ambiente para os municípios brasileiros. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 4669–4678, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-812320141912.12762014>.

PINGALI, P. L. Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 109, n. 31, p. 12302–12308, 2012. DOI: 10.1073/pnas.0912953109.

PIONTEKOWSKI, V. J. *et al.* Avaliação do desmatamento no estado de Rondônia entre 2001 e 2011. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 297–306, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.068213>.

POTAPOV, P. *et al.* Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing. **Ecology and Society**, [s. l.], v. 13, n. 2, 2008.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. [S. l.]: NBL Editora, 2002.

QGIS. Welcome to the QGIS project! 2021. QGIS A Free and Open Source Geographic Information System. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/>. Acesso em: 28 abr. 2021.

QUEIROZ, G. R. *et al.* Perfil epidemiológico de intoxicação exógena por agrotóxicos no Município de Jataí, Goiás. **Brazilian Journal of Health Review**, São José dos Pinhais, v. 3, n. 4, p. 8197–8211, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n4-078>.

QUEIROZ, P. R. *et al.* Sistema de Informação de Agravos de Notificação e as intoxicações humanas por agrotóxicos no Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 22, e190033, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-549720190033>.

R PROJECT. R: The R Project for Statistical Computing. 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 28 abr. 2021.

RACHEL CARSON COUNCIL. Rachel Carson's Statement before Congress 1963. 2021. Disponível em: <https://rachelcarsoncouncil.org/about-rcc/about-rachel-carson/rachel-carsons-statement-before-congress-1963/>. Acesso em: 26 abr. 2021.

RAMAKRISHNAN, P. S. Ecology, economics and ethics: Some key issues relevant to natural resource management in developing countries. **International Journal of Social Economics**, [s. l.], v. 25, n. 2/3/4, p. 207–225, Mar. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1108/03068299810193407>.

RAMOS, A. A. Influência do PPCDAm no combate ao desmatamento na Amazônia legal brasileira. **Innovation and Technological Development**, [s. l.], v. 1, n. 1, 2020.

RAMOS, R. F.; ANDRIOLI, A. I.; BETEMPS, D. L. Agrotóxicos e transgênicos: uma crítica popular. **Extensão em Foco**, Curitiba, n. 17, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5380/ef.v0i17.58250>.

RANGEL, G. From corgis to corn: a brief look at the long history of GMO technology. Science in the News, Harvard University, MA, USA, 2015.

RATTIS, L. *et al.* Climatic limit for agriculture in Brazil. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 11, n. 12, p. 1098–1104, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01214-3>.

REDENBAUGH, K. *et al.* Regulatory assessment of the FLAVR SAVR tomato. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 105–110, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(94\)90197-X](https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90197-X).

RIBEIRO, B.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, K. Deforestation in protected areas in the Brazilian Amazon: the case of Rondonia. Report, IMAZON, State of the Amazon, [s. l.], n. 6, 2006.

RICHARDSON, K. *et al.* Earth beyond six of nine planetary boundaries. **Science Advances**, [s. l.], v. 9, n. 37, eadh2458, set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>.

RIPLEY, B. D. The R project in statistical computing. MSOR Connections. **The Newsletter of the LTSN Maths, Stats & OR Network**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 23–25, 2001.

ROCHA, F.; MELLO, L.; JACKS, N. A pesquisa empírica em comunicação através do levantamento de dados secundários. *In*: VI ENCUESTRO PANAMERICANO DE COMUNICACIÓN - COMPANAM, 6., 2013, Córdoba, Argentina. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2013.

ROCHA, S. A. *et al.* Deforestation Dynamics in the Nova Bonal Sustainable Development Project, Acre, Brazil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 26, n. 4, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.106317>.

ROCKSTRÖM, J. *et al.* Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. **Ecology and Society**, [s. l.], v. 14, n. 2, 2009.

ROMERO, D. E.; CUNHA, C. B. Avaliação da qualidade das variáveis epidemiológicas e demográficas do Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos, 2002. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, p. 701–714, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2007000300028>.

ROUSSON, V.; ROSSELET, P. C.; PACCAUD, F. Selection bias in ecological studies. **Public Health**, [s. l.], v. 153, p. 103–106, 2017. DOI: 10.1016/j.puhe.2017.09.001.

ROZENBAUM, S.; LEITÃO, S. P. Para um agronegócio sem exclusão. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 2, p. 289–312, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-76122006000200007>.

RUSCHEL, H.; ZANOTTO, M. S.; MOTA, W. C. D. **Computação em nuvem**. 2010. 15 f. Monografia (Especialização em Redes e Segurança de Sistemas) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <https://share.google/IY5iOil59bDVw1EPO>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SAMPSON, D. Productivism, Agroecology, and the Challenge of Feeding the World. **Gastronomica**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 41–53, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1525/gfc.2018.18.4.41>.

SANTOS, D. M. A. **Amazônia**: tópicos atuais em ambiente, saúde e educação. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022.

SANTOS, J. F. S. Produção de soja, desigualdades no campo e mudanças climáticas na região do Matopiba. **DRd - Desenvolvimento Regional em Debate**, Canoinhas, v. 10, p. 535–561, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2703>.

SARAGOSO, T. M. R.; MACHADO, L. G.; GARCIA, E. G. M. Agroecologia: uma ciência interdisciplinar. **Revista de Pesquisa Interdisciplinar**, Cajazeiras, v. 3, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24219/rpi.v3i1.566>.

SCARDOELLI, M. G. C. *et al.* Intoxicações por agrotóxicos notificadas na 11a regional de saúde do estado do Paraná. **Ciência, Cuidado e Saúde**, Maringá, v. 10, n. 3, p. 549–555, 2011. DOI: 10.4025/cienccuidsaude.v10i3.17381.

SCARROW, R. Glyphosate resistance: of superweeds and survivors. **Nature Plants**, [s. l.], v. 3, n. 6, p. 1–1, 2017.

SEDDON, N. *et al.* Biodiversity in the Anthropocene: prospects and policy. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s. l.], v. 283, n. 1844, p. 20162094, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2094>.

SERRA, L. S. *et al.* Revolução Verde: reflexões acerca da questão dos agrotóxicos. **Revista do CEDS: Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB, São Luís**, v. 1, n. 4, p. 2–25, 2016.

SERVICE, R. F. A growing threat down on the farm. **Science**, Washington, DC, v. 316, n. 5828, p. 1114–1117, 2007. DOI: [10.1126/science.316.5828.1114](https://doi.org/10.1126/science.316.5828.1114).

SIANI, S. M. *et al.* Avaliação da efetividade das áreas de proteção ambiental em reduzir o desmatamento na Amazônia brasileira. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais [...]**. [S. l.]: INPE, 2019.

SIDHU, G. K. *et al.* Toxicity, monitoring and biodegradation of organophosphate pesticides: a review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 49, n. 13, p. 1135–1187, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1565554>.

SILVA, A. A. M. *et al.* Avaliação da qualidade dos dados do Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos em 1997-1998. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 35, p. 508–514, 2001.

SILVA; FAY, E. F. **Agrotóxicos e ambiente**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SILVA, J. M. C.; PRASAD, S.; DINIZ-FILHO, J. A. F. The impact of deforestation, urbanization, public investments, and agriculture on human welfare in the Brazilian Amazonia. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 65, p. 135–142, 2017.

SILVA; SANTOS, A. G.; CAMPOS, V. B.; CAMPOS, K. F. S. Agroecologia e desenvolvimento sustentável no sertão paraibano: visão dos agricultores num ambiente educacional. **Cadernos de Agroecologia**, Recife, v. 13, n. 1, 2018. .

SINGH, Z. Toxic effects of organochlorine pesticides: a review. **American Journal of BioScience**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 11, 2016. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.s.2016.040301.13>.

SMITH. GM Papaya, Hawaii, Ringspot. 2015. Disponível em: <https://www.saifood.ca/gm-papaya/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

SOÁREZ, P. C.; PADOVAN, J. L.; CICONELLI, R. M. Indicadores de saúde no Brasil: um processo em construção. **RAS**, [s. l.], v. 7, p. 27, 2005. Disponível em: https://adm.online.unip.br/img_ead_dp/37273.PDF. Acesso em: 22 mar. 2025.

SONTER, L. J. *et al.* Global demand for steel drives extensive land-use change in Brazil's Iron Quadrangle. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 26, p. 63–72, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.03.014>.

SONTER, L. J. *et al.* Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 1–7, 2017.

SOS MATA ATLÂNTICA. SOS Mata Atlântica. #EleNãoVerdeSim. 11 ago. 2020. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/>. Acesso em: 26 abr. 2021.

SOUZA, L. M. **Avaliação do Sistema de Informação sobre Nascidos Vivos – SINASC, Minas Gerais e Mesorregiões, 2000**. 2004. 112 f. Dissertação (Mestrado em Demografia) – Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2004. Disponível em: <http://repositorio.fjp.mg.gov.br/handle/123456789/272>. Acesso em: 22 mar. 2025.

STEFFEN, W. *et al.* The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. **The Anthropocene Review**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 81–98, 2015a. DOI: <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>.

STEFFEN, W. *et al.* Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. **Science**, [s. l.], v. 347, n. 6223, 2015b. DOI: 10.1126/science.1259855.

STOPA, S. R. *et al.* Acesso e uso de serviços de saúde pela população brasileira, Pesquisa Nacional de Saúde 2013. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 51, supl. 1, p. 3s, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2017051000074>.

STROPARO, T. R. Segurança alimentar e desenvolvimento sustentável sob a perspectiva da agroecologia. **Europub Journal of Health Research**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 879–884, 2022. Disponível em: <https://ojs.europubpublications.com/ojs/index.php/ejhr/article/view/515>. Acesso em: 22 mar. 2025.

SUBRAMANIAN, N.; JEYARAJ, A. Recent security challenges in cloud computing. **Computers & Electrical Engineering**, [s. l.], v. 71, p. 28–42, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.06.006>.

SULC, R. M.; TRACY, B. F. **Integrated crop–livestock systems in the US Corn Belt**. [S. l.]: Wiley Online Library, 2007.

SUSSER, M. The logic in ecological: II. The logic of design. **American Journal of Public Health**, [s. l.], v. 84, n. 5, p. 830–835, 1994. DOI: 10.2105/ajph.84.5.830.

SWANSON, N. L.; LEU, A.; ABRAHAMSON, J.; WALLET, B. Genetically engineered crops, glyphosate and the deterioration of health in the United States of America. **Journal of Organic Systems**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 6–37, 2014.

SZKLO, M.; NIETO, F. J. **Epidemiology: beyond the basics**. 4th. ed. Burlington, Massachusetts: Jones & Bartlett Learning, 2019.

TEIXEIRA, D. E.; PAULA, R. L. G.; NAPOLITANO, H. B. Legislação e Normatização para o Glifosato no Brasil. **Revista Processos Químicos**, Anápolis, v. 13, n. 25, p. 105–116, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19142/rpq.v13i25.487>.

TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL. Terra Indígena Enawenê Nawê. **Terras Indígenas no Brasil**, 2021a. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3793>. Acesso em: 31 jul. 2021.

TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL. Terra Indígena Tirecatinga. **Terras Indígenas no Brasil**, 2021b. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3877>. Acesso em: 31 jul. 2021.

TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL. Terra Indígena Utiariti. **Terras Indígenas no Brasil**, 2021c. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3893>. Acesso em: 31 jul. 2021.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 421–428, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000300018>.

UEKER, M. E. *et al.* Parenteral exposure to pesticides and occurrence of congenital malformations: hospital-based case–control study. **BMC Pediatrics**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 1–7, 2016. DOI: [10.1186/s12887-016-0667-x](https://doi.org/10.1186/s12887-016-0667-x).

ÜNAL, H. E.; BIRBEN, Ü.; BOLAT, F. Rural population mobility, deforestation, and urbanization: case of Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s. l.], v. 191, n. 1, p. 1–12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7149-6>.

UNITED NATIONS. THE 17 GOALS. Sustainable Development - the United Nations. 2015a. Department of Economic and Social Affairs. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>. Acesso em: 26 fev. 2024.

UNITED NATIONS. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Department of Economic and Social Affairs. 2015b. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 27 abr. 2021.

USGS. **Landsat Satellite Missions**. Fact Sheet. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con. Acesso em: 27 abr. 2021.

USGS. **What does “georeferenced” mean?** Fact Sheet. [S. l.: s. n.], 2017. USP. Portal Biossistemas do Brasil. 2018. Disponível em: <http://www.usp.br/portaliobiossistemas/?p=7927>. Acesso em: 26 abr. 2021.

VAN DER PLOEG, J. D. *et al.* The economic potential of agroecology: Empirical evidence from Europe. **Journal of Rural Studies**, [s. l.], v. 71, p. 46–61, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.09.003>.

VASCONCELOS, A. M. N. Qualidade das estatísticas de óbitos no Brasil: uma classificação das Unidades da Federação. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, Brasília, v. 15, n. 1, 1998. Disponível em: <https://share.google/siouDS8ew0apFhSnY>. Acesso em: 22 mar. 2025.

VAZQUEZ, M. A. *et al.* Asociación entre cáncer y exposición ambiental a glifosato. **International Journal of Clinical Medicine**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 73–85, 2017.

VENABLES; SMITH, D. M. **The R development core team**. An Introduction to R, Version. [S. l.: s. n.], 2003.

WANDERLEY, M. N. B. O agricultor familiar no Brasil: um ator social da construção do futuro. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/leaa/files/2014/06/Texto-7.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

WANG, R. Y.; STRONG, D. M. Beyond accuracy: what data quality means to data consumers. **Journal of Management Information Systems**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 5–33, 1996.

WHITMEE, S. *et al.* Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation–Lancet Commission on planetary health. **The Lancet**, London, v. 386, n. 10007, p. 1973–2028, 2015.

WHO. The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and guidelines to classification, 2019 edition. Disponível em: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240005662>. Acesso em: 12 jan. 2022.

WHO. **Preventing suicide**: a global imperative. [S. l.]: WHO, 2014.

WIK, M.; PINGALI, P.; BROCAI, S. **Global agricultural performance**: past trends and future prospects. [S. l.: s. n.], 2008.

WILLIAMS, G. M.; KROES, R.; MUNRO, I. C. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 117–165, 2000. DOI: 10.1006/rtph.1999.1371.

WORLDOMETER. Current World Population. 26 abr. 2021a. Disponível em: <https://www.worldometers.info/world-population/>. Acesso em: 20 jul. 2020.

WORLDOMETER. Largest Countries in the World (by area). 26 abr. 2021b. Disponível em: <https://www.worldometers.info/geography/largest-countries-in-the-world/>. Acesso em: 20 jul. 2020.

YAHYA, M. S. *et al.* Switching from monoculture to polyculture farming benefits birds in oil palm production landscapes: evidence from mist netting data. **Ecology and Evolution**, [s. l.], v. 7, n. 16, p. 6314–6325, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.3205>.

YOUNG, B. G. Changes in herbicide use patterns and production practices resulting from glyphosate-Resistant crops¹. **Weed Technology**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 301–307, 2006. DOI: 10.1614/WT-04-189.1.

ZALASIEWICZ, J.; WATERS, C.; WILLIAMS, M. The anthropocene. *In*: GRADSTEIN, F. (ed.). **Geologic Time Scale 2020**. [S. l.]: Elsevier, 2020. p. 1257–1280.

ZAMBERLAM, J.; FRONCHETI, A. **Agricultura ecológica**: preservação do pequeno agricultor e do meio ambiente. Petrópolis: Vozes, 2001. (Coleção Biodiversidade & transgênicos).

ZHANG, W. Global pesticide use: profile, trend, cost / benefit and more. **Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 1–27, Mar. 2018.