



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS E
GEODINÂMICA

TESE DE DOUTORADO Nº 56

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA CULTURA DE SOJA NO CERRADO,
ANALISADA POR MEIO DE ESTATÍSTICA ESPACIAL E DADOS FÍSICOS,
SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

TAMIRIS DE ASSIS

Orientador: Dr. Edson Eyji Sano

Brasília - DF

2020



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS E
GEODINÂMICA

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA CULTURA DE SOJA NO CERRADO,
ANALISADA POR MEIO DE ESTATÍSTICA ESPACIAL E DADOS FÍSICOS,
SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

TAMIRIS DE ASSIS

Tese apresentada à banca examinadora do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Geociências Aplicadas e Geodinâmica.

Área de concentração: Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental

Orientador:

Dr. Edson Eyji Sano

Examinadores:

Dra. Ieda Del'Arco Sanches (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE)

Dr. Édson Luis Bolfe (Embrapa Informática Agropecuária)

Dr. Antonio Felipe Couto Júnior (Universidade de Brasília/Campus Planaltina)

BRASÍLIA-DF

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

ASSIS, Tamiris de

Dinâmica espaço-temporal da cultura de soja no Cerrado, analisada por meio de estatística espacial e dados físicos, socioeconômicos e ambientais / Tamiris de Assis; orientador Edson Eyji Sano. Brasília, 2020.

97p.

Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas e Geodinâmica), nº 56 – Universidade de Brasília/Instituto de Geociências, 2020.

1. Índice de Gini; 2. Índice de Moran; 3. IDH; 4. PIB; 5. Passivo ambiental; 6. Agricultura tropical; 7. PAM.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSIS, T. Dinâmica espaço-temporal da cultura de soja no Cerrado, analisada por meio de estatística espacial e dados físicos, socioeconômicos e ambientais. Brasília, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2020, 97p. Tese de Doutorado.

DEDICATÓRIA

À minha querida mãe Idália (em memória)

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Idália (em memória), minha eterna gratidão pelo amor incondicional dedicado a mim, à minha irmã Karen e ao meu irmão Rian. Ao meu pai João, pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos e amigas Júlia, Nayara, Vander, Elivaldo, Danilo, Lilian, Thauany, Karina, Sarah, Fernando, Mayara, Júnior, Lucas, Mariana, Márcia, Roberta, Natália, Silvana e Luciana, pela valiosa amizade.

Ao Dr. Edson Eyji Sano, pela dedicada orientação, enorme empenho para a conclusão deste trabalho e pela relevante contribuição científica para o Brasil acerca da importância ambiental e agrícola do bioma Cerrado.

À Dra. Ieda Del'Arco Sanches, ao Dr. Édson Luis Bolfe e ao Dr. Antonio Felipe Couto Júnior, por gentilmente aceitarem o convite de participar da banca examinadora desta tese e pelas importantes considerações para o aprimoramento do trabalho.

Aos docentes e servidores do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, que proporcionaram as condições acadêmicas necessárias para o desenvolvimento deste estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

ORGANIZAÇÃO DA TESE	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
SIGLAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO 1	18
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
1.1. Introdução	18
1.2. Questões de pesquisa.....	19
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo geral.....	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO 2	21
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1. Ocupação agrícola do Cerrado.....	21
2.2. Origem e expansão da soja	27
2.3. Análise integrada de dados multisensor, multitemporal, multiescala e multifontes na avaliação da paisagem da cultura de soja no Cerrado	30
2.4. Agricultura sustentável no Cerrado.....	38
2.5. Modelos de estatística espacial	43
CAPÍTULO 3	46
EXPANSÃO DA SOJA NO CERRADO ANALISADA POR MEIO DE ESTATÍSTICA ESPACIAL ENTRE 1974 E 2014	46
3.1. Questões de pesquisa.....	46
3.2. Objetivo do estudo	46
3.3. Materiais e métodos	46
3.3.1. Sistematização dos dados	46
3.3.2. Estatísticas espaciais e não-espaciais	47
3.4. Resultados e discussão	49
3.4.1. Panorama da produção de soja no Cerrado.....	49
3.4.2. Dinâmica espaço-temporal da produção de soja no Cerrado.....	52
3.4.3. Autocorrelação espacial.....	56

3.5. Considerações finais.....	59
CAPÍTULO 4	60
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL DAS PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS DE SOJA DO CERRADO E DAS POTENCIAIS ÁREAS DE EXPANSÃO AGRÍCOLA	60
4.1. Questões de pesquisa.....	60
4.2. Objetivo do estudo	60
4.3. Materiais e métodos	60
4.3.1. Base de dados e procedimentos de análise	60
4.4. Resultados e discussão	64
4.4.1. Caracterização física das seis principais microrregiões produtoras de soja	64
4.4.2. Uso da terra nas seis principais microrregiões produtoras de soja.....	70
4.4.3 Produto Interno Bruto e Índice de Desenvolvimento Humano.....	76
4.5. Considerações finais.....	80
CAPÍTULO 5	81
CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	83

ORGANIZAÇÃO DA TESE

Este trabalho foi estruturado em cinco capítulos, dos quais o Capítulo 1 aborda as considerações iniciais da temática trabalhada na tese com a introdução, justificativa, apresentação das questões de pesquisa e objetivos gerais e específicos do estudo. O Capítulo 2 contém a fundamentação teórica referente aos assuntos discutidos no presente trabalho. O Capítulo 3 contempla o primeiro artigo da tese desenvolvido em torno das seguintes questões norteadoras: 1) Existe algum padrão espacial na dinâmica da produção de soja no Cerrado no período de 1974 a 2014? 2) Em caso afirmativo, esses padrões espaciais da produção de soja no Cerrado refletem as aptidões locais ou regionais? 3) Esses padrões espaciais do cultivo de soja no Cerrado variam sistematicamente no intervalo de tempo de 40 anos (1974 a 2014)? O capítulo 4 apresenta o segundo artigo da tese, a partir das seguintes questões de pesquisa: 1) Como são as características físicas, socioeconômicas e ambientais das principais microrregiões produtoras de soja no Cerrado em 2018? 2) O cultivo de soja influencia o aspecto social, econômico e ambiental dessas microrregiões? 3) Quais fatores físicos condicionam a expansão agrícola das microrregiões de maior destaque na cultura de soja do Cerrado? 4) Qual é o potencial de expansão agrícola das microrregiões com maior produção de soja no Cerrado no ano de 2018? E, por fim, o Capítulo 5 apresenta as principais conclusões sobre os resultados obtidos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proporção das classes de uso e cobertura da terra do Cerrado. Fonte: MMA (2015).....	25
Figura 2. Evolução do uso e cobertura da terra do bioma Cerrado entre 1985-2018. Fonte: MapBiomas (2020).....	26
Figura 3. Origem e expansão da soja no mundo. Fonte: Adaptados de Bonetti (1981) e Peel et al. (2007).	28
Figura 4. Localização das 109 microrregiões em parte dos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, São Paulo e Tocantins, coberta pelo bioma Cerrado, além do Distrito Federal. Fonte: IBGE (2016).	33
Figura 5. Precipitação média anual das 109 microrregiões localizadas no bioma Cerrado. Fonte: Fick e Hijmans (2017).....	34
Figura 6. Unidades geomorfológicas das 109 microrregiões localizadas no bioma Cerrado. Fonte: IBGE (2009).	35
Figura 7. Unidades pedológicas das 109 microrregiões localizadas no bioma Cerrado. Fonte: IBGE (2007).	36
Figura 8. Mapa de uso e cobertura da terra do bioma Cerrado ano base 2013. Fonte: MMA (2015).....	37
Figura 9. Fitofisionomias do bioma Cerrado. Fonte: Ribeiro e Walter (2008).	39
Figura 10. Relação de vizinhança dos padrões de autocorrelação espacial: a) cluster High-High (HH), b) outlier High-Low (HL), c) outlier Low-High (LH) e d) cluster Low-Low (LL). Fonte: Zhang et al. (2008).....	44
Figura 11. Relação entre a produção de soja no Cerrado e no Brasil no período de 1974 a 2014. Fonte: IBGE (2017a).	50
Figura 12. Diagramas de extremos e quartis da produção de soja no Cerrado em termos de microrregiões produtoras nos anos de 1974 (a), 1984 (b), 1994 (c), 2004 (d) e 2014 (e). As microrregiões listadas em cada diagrama correspondem àquelas discrepantes (outliers).	51
Figura 13. Taxas de crescimento relativo da produção de soja nas microrregiões do Cerrado entre 1994 a 2014. Fonte: IBGE (2017a).....	52
Figura 14. Dinâmica espaço-temporal da produção de soja nas microrregiões do Cerrado para os anos de 1974, 1984, 1994, 2004 e 2014. Fonte: IBGE (2017a).	55

Figura 15. Dinâmica espaço-temporal da produção de soja no Cerrado para os anos de 1974, 1984, 1994, 2004 e 2014, apresentada em termos de índice de Moran local.	58
Figura 16. Precipitações médias mensais obtidas das cinco estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas nos estados do Maranhão (estação Alto Parnaíba), Bahia (estação Barreiras), Mato Grosso (estação Gleba Celeste) e Mato Grosso do Sul (Ponta Porã). Fonte: INMET (2020).	64
Figura 17. Precipitação média anual das seis microrregiões mais produtivas de soja no Cerrado, localizadas nos estados do Piauí (A), Mato Grosso (B), Bahia (C), Mato Grosso do Sul (D), Maranhão (E) e Goiás (F). Fonte: Fick e Hijmans (2017).	67
Figura 18. Unidades geomorfológicas das seis microrregiões mais produtivas de soja no Cerrado, localizadas nos estados do Piauí (A), Mato Grosso (B), Bahia (C), Mato Grosso do Sul (D), Maranhão (E) e Goiás (F). Fonte: IBGE (2009).	68
Figura 19. Unidades pedológicas das seis microrregiões mais produtivas de soja no Cerrado, localizadas nos estados do Piauí (A), Mato Grosso (B), Bahia (C), Mato Grosso do Sul (D), Maranhão (E) e Goiás (F). Fonte: IBGE (2007).	69
Figura 20. Lista dos 11 municípios com área colhida de soja superior a 200 mil hectares em 2018. Fonte: IBGE (2018).	71
Figura 21. Produto interno bruto (PIB) per capita dos municípios que compõem as microrregiões de Alto Parnaíba Piauiense, PI (A), Alto Teles Pires, MT (B), Barreiras, BA (C), Dourados, MS (D), Gerais de Balsas, MA (E) e Sudoeste de Goiás, GO (F). Fonte: IBGE (2020a).	77
Figura 22. Índice de desenvolvimento humano (IDH) de 2010 das seis maiores microrregiões produtoras de soja no Cerrado. Fonte: PNUD (2013).	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Iniciativas para estimar e monitorar as mudanças no uso e cobertura da terra do bioma Cerrado.....	24
Tabela 2. Detecção de mudanças do uso e cobertura da terra do bioma Cerrado entre 1985 e 2018.	26
Tabela 3. Estudos da expansão da soja no bioma Cerrado.....	29
Tabela 4. Objetivos do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC).	41
Tabela 5. Microrregiões integrantes do grupo de cinco maiores produtores de soja do bioma Cerrado em 1974, 1984, 1994, 2004 e 2014.	51
Tabela 6. Características dos principais dados espaciais e tabulares utilizados neste estudo.	62
Tabela 7. Características físicas das seis principais microrregiões produtoras de soja no Cerrado.....	70
Tabela 8. Área ocupada por culturas anuais nas seis microrregiões do Cerrado com maior produção de soja, discriminados por compartimentação geomorfológica (dados baseados no Projeto TerraClass Cerrado 2013 do Ministério do Meio Ambiente). Total de área com culturas anuais: 6,4 milhões de hectares.	72
Tabela 9. Área ocupada por pastagens cultivadas nas seis microrregiões do Cerrado com maior produção de soja, localizadas nos compartimentos geomorfológicos de chapada e planalto (dados baseados no Projeto TerraClass Cerrado 2013 do Ministério do Meio Ambiente).	72
Tabela 10. Valores médios de passivo ambiental ao longo de drenagens nas seis microrregiões do Cerrado com maior produção de soja.	73

SIGLAS

ABC - Agricultura de Baixo Carbono

ANA - Agência Nacional de Água

APP - Área de Preservação Permanente

APROSOJA - Associação dos Produtores de Soja

Aw - Clima tropical seco

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

COP15 - Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2009

CPAC - Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETM+ - Enhanced Thematic Mapper Plus

EVI - Enhanced Vegetation Index

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

FBDS - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável

FBN - Fixação Biológica de Nitrogênio

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação

FIDA - Fundo Internacional de Desenvolvimento Agrícola

FMI - Fundo Monetário Internacional

FUNAI - Fundação Nacional do Índio

I - Índice de Moran Global

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IDW - Inverse Distance Weighted

Ii - Índice de Moran Local

ILP - Integração Lavoura-Pecuária

ILPF - Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

JICA - Japan International Cooperation Agency

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil

MATOPIBA - Acrônimo das iniciais do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MRN - Mapeamento de Recursos Naturais

OLI - Operational Land Imager

OMS - Organização Mundial da Saúde

ONU - Organização das Nações Unidas

PAM - Produção Agrícola Municipal

PIB - Produto Interno Bruto

PMA - Programa Mundial de Alimentos

PND - Plano Nacional de Desenvolvimento

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

POLOCENTRO - Programa de Desenvolvimento do Cerrado

PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira

PRODECER - Programa Cooperativo Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento do Cerrado

RL - Reserva Legal

SAFs - Sistemas Agroflorestais

SFB - Serviço Florestal Brasileiro

SICAR - Sistema de Cadastro Ambiental Rural

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática

SPD - Sistemas de Plantio Direto

TCR - Taxa de Crescimento Relativo

TM - Thematic Mapper

UNCTAD - United Nations Conference on Trade and Development

RESUMO

O entendimento da expansão da produção agrícola de uma determinada região é fundamental para o seu planejamento territorial e desenvolvimento regional. Devido ao aumento da demanda mundial por alimentos, ampliação do poder aquisitivo da população e o potencial de diversificação dos produtos, o cultivo da soja configura em grande relevância econômica para o Brasil. O objetivo geral desta pesquisa foi analisar a dinâmica da cultura de soja no Cerrado entre 1974 a 2014 e identificar áreas potenciais de expansão agrícola por meio de estatística espacial e dados físicos, socioeconômicos e ambientais. O estudo foi baseado nos dados de Produção Agrícola Municipal (PAM) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), obtidos em 1974, 1984, 1994, 2004 e 2014. Esses dados foram analisados por meio do índice de Gini para averiguar o grau de concentração da produção de soja no Cerrado e por meio dos índices de Moran global (I) e local (Ii) para mensurar o grau de correlação espacial existente entre as principais microrregiões produtoras de soja. Para caracterização socioeconômica dessas áreas, foram utilizados dados da PAM de produção de soja anual (t) no período de 1974 a 2018 e de área colhida de soja (ha) referente ao ano de 2018, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e Produto Interno Bruto (PIB). O aspecto ambiental foi analisado por meio das Áreas de Preservação Permanente, mapeadas pelas Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável. A identificação das áreas potenciais de expansão agrícola deu-se pela integração dos seguintes dados: de agricultura anual e pastagem do mapeamento realizado no âmbito do Projeto TerraClass Cerrado 2013; precipitação média anual e mensal obtida pela plataforma *WorldClim2* e INMET; mapas de solos e geomorfologia do IBGE na escala de 1:250.000; mapa de terras indígenas da Fundação Nacional do Índio (FUNAI); e mapa de unidades de conservação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Os resultados indicaram que as principais regiões produtoras de soja se encontram nas microrregiões do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Goiás, Maranhão e Piauí. A análise do índice de Gini, I e Ii demonstrou que a produção de soja no Cerrado é feita com grande concentração geográfica em regiões específicas. No período considerado de 40 anos (1974 a 2014), a produção expandiu, inicialmente, das regiões sul para o centro-oeste do bioma, porém, a partir da década de 2000, surgiram três novos *hotspots* (oeste da Bahia e sul do Maranhão e Piauí). A caracterização física, socioeconômica e ambiental identificou que as melhores condições são encontradas no estado do Mato Grosso. Em

contrapartida, as piores condições foram encontradas na região de MATOPIBA. As microrregiões de Mato Grosso e Goiás obtiveram o maior desempenho econômico e melhor indicador social. As áreas potenciais de expansão agrícola estão concentradas em Goiás e Mato Grosso do Sul. Os resultados obtidos neste estudo fornecem subsídios para orientar as políticas econômicas de exportação de *commodities agrícolas*, políticas públicas e ações do setor produtivo voltadas para estoque regulador de grãos, melhoria na logística de transporte e incentivo à implantação de uma agricultura ambientalmente sustentável.

Palavras-chave: índice de Gini, índice de Moran, IDH, PIB, passivo ambiental, agricultura tropical, PAM.

ABSTRACT

Understanding the expansion of agricultural production in a given region is fundamental to its territorial planning and regional development. Due to the increase in the world's demand for food, expansion of the population's purchasing power and the potential for product diversification, soybean cultivation is of great economic relevance for Brazil. The general objective of this research was to analyze the dynamics of the soybean culture in the Cerrado (1974 to 2014) and identify potential areas for agricultural expansion using spatial statistics and physical, socioeconomic and environmental data. The study was based on Municipality Agricultural Production data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), obtained in 1974, 1984, 1994, 2004, and 2014. These data were analyzed using the Gini index to ascertain the degree of concentration of soybean production in the Cerrado and through global and local Moran indices to measure the degree of spatial correlation between the main soybean producers in terms of microregions. For socioeconomic characterization of these areas, data from the PAM of annual soybean production (t) from 1974 to 2018 and harvested soybean area (ha) for the year 2018, Human Development Index (HDI) and the Gross Domestic Product (GDP) were selected. The environmental aspect was analyzed through the Permanently Protected Areas, mapped by the Brazilian Foundation for Sustainable Development. The identification of potential areas for agricultural expansion was achieved by integrating the following data: annual agriculture and pasture data from the mapping carried out within the scope of the TerraClass Cerrado Project from 2013; precipitation data obtained by the WorldClim2 platform and NMI; soil and geomorphological maps produced by IBGE on 1:250,000 scale; indigenous land map, obtained from the National Indian Foundation (FUNAI); conservation units map, obtained from the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICMBio). The results indicated that the main producing regions are found in the microregions of Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Goiás, Maranhão and Piauí. The analysis of the Gini index, global Moran index and local Moran index demonstrated that the production of soybean in the Cerrado is conducted with great geographical concentration in specific regions. In the 40-year period (1974 to 2014), production initially expanded from the south regions to the center-west of the biome, however, since 2000s, three new hotspots emerged (western Bahia and southern Maranhão and Piauí). The best socioeconomic and environmental conditions were found in the Mato Grosso state. On the other hand,

the worst conditions were found in the MATOPIBA region. The microregions of Mato Grosso and Goiás had the highest economic performance and the best social indicator. The areas with high potential for agricultural intensification are concentrated in Goiás and Mato Grosso do Sul. The results obtained in this study provide subsidies to guide policies of agricultural commodities exportation, public policies and actions in the productive sector aimed at regulating grain stocks, transportation logistics, and to encourage the implementation of environmentally sustainable agriculture.

Keywords: Gini index, Moran index, HDI, GDP, environmental liability, tropical agriculture.

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. Introdução

O aumento da demanda global por alimentos previsto para 60% em 2050, devido ao crescimento contínuo da população dos países emergentes como a China, Índia, Brasil, Rússia, Indonésia, México e Turquia, é um dos grandes desafios enfrentado pelas nações atualmente (Searchinger et al., 2019). O desenvolvimento urbano em conjunto com o aumento da renda per capita são os principais fatores para o crescimento populacional observado nas últimas décadas, de 2,6 bilhões de pessoas em 1950 para 7,7 bilhões de habitantes no mundo em 2019, com estimativa de 11 bilhões em 2100 (United Nations, 2019a).

As diferenças econômicas, sociais e ambientais de cada país tornam o quadro alimentar no mundo complexo, e o risco de a agropecuária não atender a demanda de alimentos, com produção limitada por ocorrências climáticas extremas, e garantir a segurança alimentar é iminente (FAO/IFAD/UNICEF/WFP/WHO, 2019). Com objetivo de combater a crise, instituições membros da Organização das Nações Unidas (ONU) (e.g. Programa Mundial de Alimentos – PMA; Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO; Fundo Internacional de Desenvolvimento Agrícola – FIDA; Fundo Monetário Internacional – FMI; Organização Mundial da Saúde – OMS; Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD; e Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento - UNCTAD) estão realizando investimentos em diferentes setores para que os estoques de alimentos permaneçam disponíveis para a população (Nações Unidas Brasil, 2019).

A soja caracteriza-se em uma das principais alternativas para suprir essa demanda mundial, por configurar em um dos grãos mais versáteis, com uso tanto para o consumo humano, quanto na pecuária (OCDE/FAO, 2019). O Brasil é o maior exportador de soja no mundo (WTO, 2019) e segundo maior produtor mundial (CONAB, 2019), com perspectiva de ocupar a primeira posição em 2020 e 2021 a soja configura na principal *commodity* agrícola do país (USDA, 2020), e representa uma das soluções para alcançar a segurança alimentar mundial, com investimentos estratégicos na produção e exportação agrícola (Saath e Fachinello, 2018).

A previsão do potencial de ampliação da oferta de alimentos no Brasil em 2027 é de

69% (USDA, 2019), sendo que mais de 50% dessa produção ocorre no bioma Cerrado, no qual se estima aumento da expansão em áreas de grande potencial produtivo da soja, como o Maranhão (37,6%), Tocantins (34,8%), Bahia (32,6%), Mato Grosso (35%), Mato Grosso do Sul (33,8%) e Goiás (34,4%) (MAPA, 2018). Além de constituir um dos pilares da economia do país (Sano et al., 2001), o Cerrado possui a maior biodiversidade e heterogeneidade de paisagens dentre as savanas do mundo (Silva e Bates, 2002; Silva et al., 2006; Ribeiro e Walter, 2008). Dessa forma, a compreensão dos padrões históricos em conjunto com a caracterização física, socioeconômica e ambiental das áreas de produção de soja e das áreas potenciais de expansão agrícola do Cerrado permite responder questões fundamentais acerca da dinâmica agrícola do bioma, considerando as tendências geográficas do uso da terra ao longo do tempo. Além disso, possibilita a realização de projeções futuras mais precisas que auxiliam o desenvolvimento de políticas públicas e ações do setor privado que contemplem tanto o potencial econômico da agricultura no Brasil, como a conservação da riqueza ecológica do Cerrado.

1.2. Questões de pesquisa

- A dinâmica espaço-temporal da produção de soja no bioma Cerrado segue padrões de distribuição geográfica que variam no decorrer do tempo?
- Esses padrões permitem a identificação dos principais fatores condicionantes para o desenvolvimento do cultivo de soja no Cerrado?
- As áreas de maior produção de soja no Cerrado possuem características físicas, socioeconômicas e ambientais semelhantes?
- As áreas de maior produção de soja no Cerrado possuem potencial de expansão agrícola?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Analisar a dinâmica da cultura de soja no Cerrado entre 1974 a 2014 e identificar áreas potenciais de expansão agrícola por meio de estatística espacial e dados físicos, socioeconômicos e ambientais.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analisar a expansão da soja no Cerrado por meio de estatística espacial;
- Avaliar os atributos físicos, socioeconômicos e ambientais das seis microrregiões de maior produção de soja; e
- Identificar as áreas potenciais de expansão agrícola no Cerrado.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Ocupação agrícola do Cerrado

Inicialmente, o Cerrado foi considerado uma região com solos pobres em nutrientes, sem muitas possibilidades para produção agrícola em grande escala e onde somente árvores de pequeno porte com galhos e troncos tortuosos e gramíneas ralas e secas na maior parte do tempo seriam capazes de sobreviver nesse ambiente considerado inapropriado para ocupação agrícola (Motta et al., 2002; Ribeiro, 2015). Além disso, a irregularidade do regime pluviométrico, principalmente na divisa com a Caatinga, era um fator limitador para ocupação dessas áreas (Fernandes et al., 2016).

No início do século XVIII, a ocupação do Cerrado era condicionada essencialmente pela exploração mineral de ouro e pedras preciosas nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás, período denominado de “corrida do ouro”. Nessa época, foram fundados diversos povoados como Bom Jesus de Cuiabá no estado de Mato Grosso, e Vila Boa de Goiás e Meia Ponte em Goiás, que se estabeleceram posteriormente como cidades (Figueiredo, 2012). Com a queda da produção das atividades de mineração, na primeira década do século XX, essas atividades foram gradualmente sendo substituídas pela pecuária. As pastagens naturais foram sendo substituídas pelas pastagens plantadas com o objetivo de aumentar a produção da carne bovina, visando atender a demanda crescente dos estados de São Paulo e Minas Gerais, que intensificavam a integração viária com Goiás e Mato Grosso por meio da abertura de novas estradas e ferrovias (Bensusan, 2008).

A expansão da agricultura foi acelerada pela construção de Brasília em 1960 e pelas políticas públicas baseadas nos princípios da Revolução Verde, tais como o Programa de Desenvolvimento do Cerrado (POLOCENTRO) e o Programa Cooperativo Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento do Cerrado (PRODECER) (Ribeiro, 2005; Hosono et al., 2016). Destacam-se ainda investimentos em tecnologia e pesquisas científicas para correção dos solos altamente intemperizados e ácidos, principalmente por parte da Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA) (Alho e Martins, 1995).

O Plano Nacional de Desenvolvimento (PND), implementado entre os anos de 1969 a 1979 e inserido no “Projeto Brasil Grande Potência”, tinha, como principal

enfoque, o desenvolvimento e modernização da agropecuária no país (Inocêncio, 2010). Para direcionar as ações do PND, foram criados diversos programas que levaram em consideração as especificidades de cada região. Dentro desse plano, destaca-se o POLOCENTRO que destinou seus recursos para pesquisa, crédito rural, infraestrutura de novas estradas e ferrovias para escoamento da produção agrícola e pecuária do Cerrado (Farias e Zamberlan, 2013; Ioris, 2016).

Esse programa teve atuação entre 1975 e 1984 e foi responsável pelo aumento de aproximadamente 30% da ocupação de áreas de estabelecimento agrícola nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais, com 12 polos de crescimento da agricultura no Cerrado (Cavalcanti e Barreira, 2011). O principal objetivo do POLOCENTRO foi a difusão de tecnologias adequadas às características edáficas do Cerrado, no intuito de obter os melhores resultados econômicos na produção agropecuária. Nesse contexto de disseminação de metodologias mais avançadas para utilização na expansão da fronteira agrícola, foi criado, em 1975, o Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) atualmente denominada de Embrapa Cerrados, no qual o POLOCENTRO teve participação em grande parte dos recursos investidos (Newberry, 2014).

De modo geral, o POLOCENTRO foi um programa que teve pouco sucesso em seu propósito, principalmente por causa da insuficiência de subsídios financeiros que eram necessários para a modernização do campo e por causa da intensificação do processo econômico inflacionário (Pires, 2000). Esses fatos colaboraram para mudanças no direcionamento das políticas públicas de ocupação agrícola do centro-oeste, acelerando as negociações do governo brasileiro com o governo japonês para o estabelecimento do PRODECER (Bittencourt Rosa et al., 2015; Almeida e Buainain, 2016). Essa associação do governo brasileiro com o japonês originou em um dos programas de desenvolvimento da agropecuária de maior duração no país, com 21 anos de atuação (1980-2001) no Cerrado brasileiro (Clements e Fernandes, 2013; Arvor et al., 2017).

As atividades envolveram a seleção de áreas para instalação de projetos agrícolas, seleção de colonos, organização da produção e dos produtores através de cooperativas e assessoramento aos estados e municípios para instalação da infraestrutura logística da agropecuária nessas áreas (Pires, 2000). A implementação ocorreu em três etapas, sendo a primeira fase iniciada em 1980 somente nos municípios mineiros de

Coromandel, Iraí de Minas e Paracatu. Essas áreas foram utilizadas em projetos de colonização envolvendo empresas de capital misto (Santos, 2016). A segunda fase aconteceu em 1985 e consistiu na etapa piloto e na expansão do programa, com destaque para atividades testes em áreas amostrais e posteriormente para expansão para outros municípios de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Bahia (Dal Lago, 2014). A terceira e última fase do PRODECER foi desenvolvida a partir de 1995 com projetos pilotos em Pedro Afonso, no estado do Tocantins, e em Balsas, no Maranhão (Pessôa e Inocêncio, 2014).

O alto investimento financeiro em programas de incentivo a expansão agropecuária, como o POLOCENTRO e o PRODECER, destinado em maior parte para infraestrutura das estradas, teve, como público alvo, os proprietários rurais de médio e grande porte. Esse critério é bastante controverso devido à exclusão social que, no decorrer do tempo, transformou-se em desigualdade nas concentrações de terras e distribuição de renda para os pequenos produtores (Cavalcanti e Barreira, 2011).

As características ambientais encontradas nessa região, notadamente a distribuição de chuvas marcadas pela sazonalidade e relevo plano que facilita a mecanização, proporcionam condições que potencializam o desenvolvimento agrícola dessas áreas (Couto Jr. et al., 2007). Essas condições são fatores importantes para atrair novos investimentos internacionais, sendo lançado em 2017, o Fundo de Cooperação para Expansão e Capacidade Produtiva Brasil e China, com o objetivo de financiar projetos de interesse comum para os dois países, entre os quais está a agricultura (Brasil, 2017). Dessa forma, a produção agropecuária do Cerrado ficou extremamente significativa para o Brasil. Com destaque internacional, o Cerrado tem contribuído para a relevância econômica da agricultura e pecuária do país, representando as maiores porções de terra utilizadas para essa finalidade (Rada, 2013).

Com relação aos estudos mais detalhados envolvendo a expansão agrícola em todo o bioma Cerrado (**Tabela 1**), a maioria tem sido realizado por meio de análise de imagens multiespectrais da série de satélite norte-americano Landsat, com resolução espacial variando de 15m a 100m. Por exemplo, Brannstrom et al. (2008) analisaram mudanças na cobertura vegetal do Cerrado no período 1986-2002, ressaltando alterações acentuadas no oeste da Bahia e leste de Mato Grosso. Sano et al. (2010) no contexto do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO) mapearam diferentes classes de uso e cobertura da terra do Cerrado (por exemplo, culturas agrícolas, pastagens cultivadas, reflorestamento, área

urbana, área sob influência de mineração), indicando que 38% do Cerrado já estavam convertidos para algum tipo de uso da terra no ano-base de 2002. Beuchle et al. (2015) analisaram mudanças no uso e cobertura da terra do Cerrado e da Caatinga por meio de amostragens sistemáticas de imagens do satélite Landsat no período de 1990 a 2000. Esses últimos autores relataram que a taxa de desmatamento do Cerrado passou de 0,79%/ano em 1990 para 0,44% em 2000. Scaramuzza et al. (2017) atualizaram o mapa de uso e cobertura da terra do Cerrado que foi produzido pelo Projeto PROBIO para o ano-base 2013. Segundo esse estudo, aproximadamente 43% do Cerrado apresentava algum tipo de cobertura antrópica, notadamente pastagens cultivadas e culturas agrícolas (**Figura 1**). O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias, 2020) ao analisar a evolução anual da cobertura e uso da terra entre 1985-2018 identificaram o aumento da agropecuária no Cerrado de 55 milhões de hectares (Mha) para 85 Mha (**Figura 2**).

Tabela 1. Iniciativas para estimar e monitorar as mudanças no uso e cobertura da terra do bioma Cerrado.

Publicação	Análise	Período	Dados	Resultados
Brannstrom et al. (2008)	mudança na cobertura vegetal	1986-2002	Landsat-5 TM e Landsat-7 ETM + (30m)	alterações acentuadas no oeste da Bahia e leste de Mato Grosso
Sano et al. (2010)	uso e cobertura da terra	2002	Landsat-7 ETM+ (30 m)	38% da cobertura vegetal natural do Cerrado convertido para algum tipo de uso antrópico
Beuchle et al. (2015)	mudança no uso e cobertura da terra	1990-2000	Landsat-5 TM e Landsat-7 ETM + (30m)	taxa de desmatamento do Cerrado passou de 0,79%/ano em 1990 para 0,44% em 2000
Scaramuzza et al. (2017)	uso e cobertura da terra	2013	Landsat-8 OLI (30 m)	43% do Cerrado apresenta algum tipo de cobertura antrópica
MapBiomias (2020)	Mudança no uso e cobertura da terra	1985-2018	Coleção Landsat (30 m)	aumento de 55 Mha para 85Mha da agropecuária no Cerrado

Os resultados demonstrados em Scaramuzza et al. (2017) (**Figura 1**) foram obtidos no âmbito do Projeto TerraClass Cerrado, cujo intuito foi realizar o mapeamento da cobertura vegetal do bioma utilizando 121 cenas do Landsat 8/OLI para o ano de 2013, na escala de 1:100.000 com área mínima de 6,25ha (MMA, 2015). A partir desse mapeamento, verificou-se que as áreas antrópicas representam 43,4% do uso da terra, sendo o maior percentual encontrado na classe de pastagem (29,5%), seguida da agricultura anual (8,5%), agricultura perene (3,2%), silvicultura (1,5%), área urbana/mosaico de ocupação (0,6%), solo exposto (0,2%) e área de mineração (0,01%). A cobertura vegetal natural possui aproximadamente 55% de terra no bioma Cerrado.

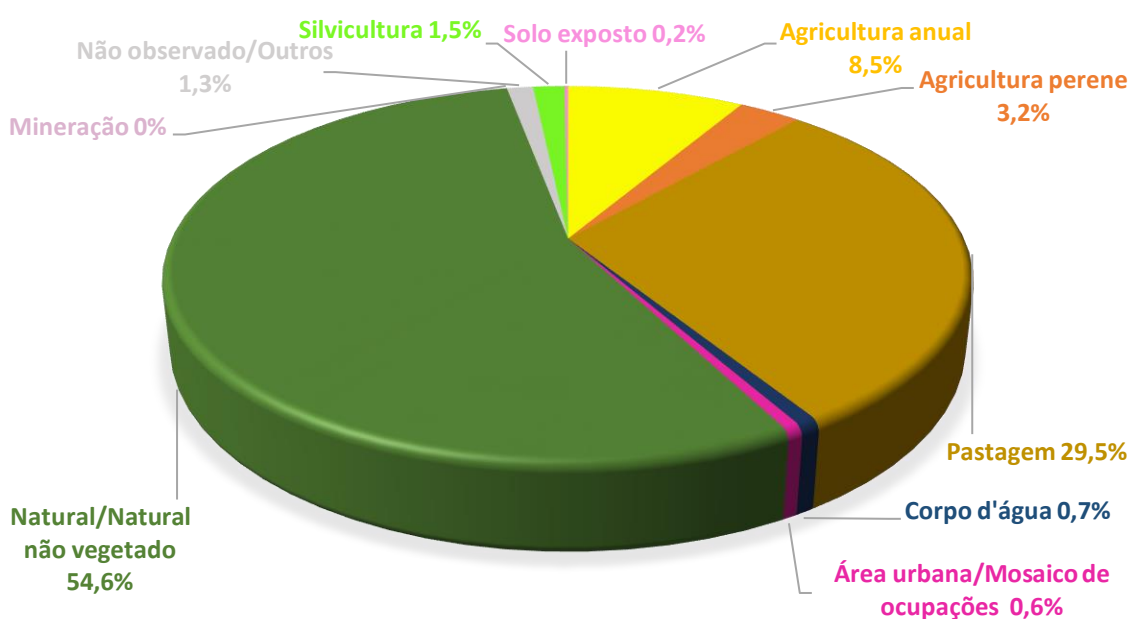


Figura 1. Proporção das classes de uso e cobertura da terra do Cerrado. Fonte: MMA (2015).

A análise da mudança anual do uso e cobertura da terra do bioma Cerrado realizado pelo MapBiomias (2020) entre 1985 e 2018 (**Figura 2; Tabela 2**) demonstrou que a classe de floresta diminuiu de 118Mha para 92Mha (redução de 13,3%), a formação natural não florestal teve pouca alteração, de 22Mha para 18Mha (redução de 2,1%), a agropecuária teve aumento de 55Mha para 85Mha (aumento de 15,2%) e os outros usos como área não vegetada de 1,3Mha para 1,6Mha (aumento de 0,1%), corpo d'água de 1,1Mha para 1,3Mha (aumento de 0,08%) e a classe não observado apresentou alteração de 6,1 mil ha para 6,2 mil ha.

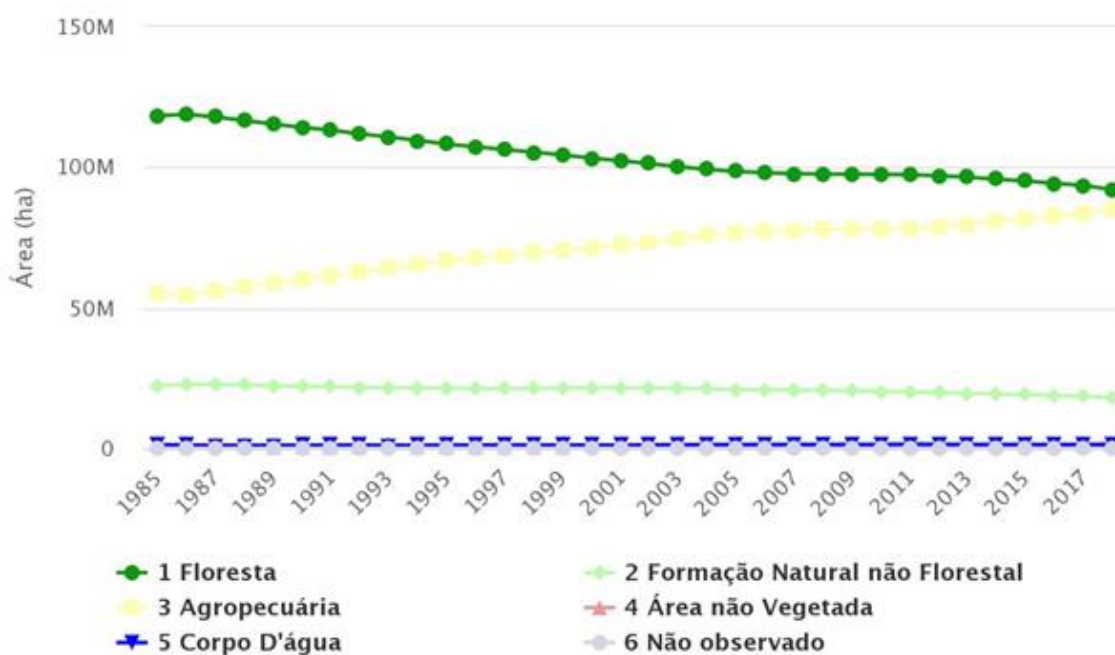


Figura 2. Evolução do uso e cobertura da terra do bioma Cerrado entre 1985-2018. Fonte: MapBiomias (2020).

Tabela 2. Detecção de mudanças do uso e cobertura da terra do bioma Cerrado entre 1985 e 2018.

Classe de Uso e Cobertura	Total (ha) 1985	Total (%) 1985	Total (ha) 2018	Total (%) 2018	Conversão (%)
Floresta	118.385.305	59,7	92.042.247	46,4	-13,3
Formação natural não florestal	22.329.945	11,3	18.125.244	9,1	-2,1
Agropecuária	55.212.072	27,8	85.305.611	43	15,2
Área não vegetada	1.335.293	0,7	1.619.117	0,8	0,1
Corpo d'água	1.193.951	0,6	1.364.344	0,7	0,1
Não observado	6.216	0	6.220	0	0

Fonte: Adaptado de MapBiomias (2020).

Em resumo a cobertura antrópica do Cerrado possui a ocupação agropecuária como a maior porção de uso da terra, variando de 41% (MMA, 2015) a 43% (MapBiomias, 2020). Em relação à ocupação agrícola, observa-se que a classe de agricultura anual representa uso significativo de 8,5% (MMA, 2015) (Figura 1), sendo o produto agrícola de maior destaque a soja (*Glycine max* (L.) Merrill), que constitui um dos principais pilares da economia nacional (Grecchi et al., 2014).

2.2. Origem e expansão da soja

Os primeiros registros do grão de soja foram feitos há cerca 2.838 anos a.C. (Pen Ts'ao Kang Mu) pelo imperador Shen Nung da China e descritos em 1.578 d.C. por Li Shizhen em um compêndio de matéria médica da fitoterapia chinesa (Shurtleff e Aoyagi, 2011). A evolução do cultivo da soja, que inicialmente era considerada selvagem (*Glycine soja*) por desenvolver-se de forma rasteira às margens dos lagos e rios chineses, principalmente o Yangtsé, foi possível devido ao melhoramento da cultura realizado no século XI a.C. pelos cientistas da China antiga que, a partir do cruzamento dos genótipos ancestrais selecionaram espécies adequadas para consumo humano (*Glycine max*) (Qiu e Chang, 2010). Somente entre os séculos II a.C e o III d.C. que a difusão da soja iniciou nos demais países asiáticos, como Coréia e Japão (Hymowitz, 1970).

A expansão da cultura da soja na Europa ocorreu no final do século XV, período denominado de Grandes Navegações, exclusivamente com a finalidade de ornamentação dos jardins botânicos da Inglaterra e Alemanha (Castro, 1981). As pesquisas envolvendo a produção de óleo e nutrição animal para consumo da soja iniciaram-se no século XVIII de forma lenta no continente europeu, cerca de 300 anos após a inserção da espécie no continente (Câmara, 1998). Na Eurásia, a Rússia não obteve resultados satisfatórios na produção de soja, sendo a ausência de conhecimento sobre as especificidades do plantio de soja e os fatores climáticos um dos principais motivos para essa conjuntura (Pallieux, 1880).

Nos Estados Unidos a soja surgiu no ano de 1765 como planta forrageira, e a partir do final do século XIX e início do século XX conseguiu atingir a produção comercial com maior teor de óleo e proteína de grão (Hymowitz e Shurtleff, 2005; Du Bois et al., 2008). A fundação *American Soybean Association* (ASA) em 1921 foi o marco comercial mundial para consolidação da cadeia produtiva da cultura da soja. Os investimentos em tecnologia para o desenvolvimento de novas variedades de espécies tolerantes as condições agrícolas do país, possibilitou a colheita de cultivares de maior qualidade e favoreceram a expansão da soja para o México (1858) e posteriormente para o Brasil (1882) e Argentina (1956) (Bonetti, 1981).

Verifica-se que a origem e a expansão da soja ocorreram predominantemente em países de clima temperado como a China, Japão, Estados Unidos, Argentina, continente europeu e a região sul do Brasil (**Figura 3**). Esses ambientes são característicos por

possuírem estações bem definidas, com temperaturas que variam de -3°C no inverno a 18° no verão e precipitação de 1.500 mm a 2.000 mm (Peel et al., 2007). Os solos são ricos em nutrientes devido ao processo natural de decomposição das folhas das plantas caducifólias das florestas temperadas (Smith et al., 2019).

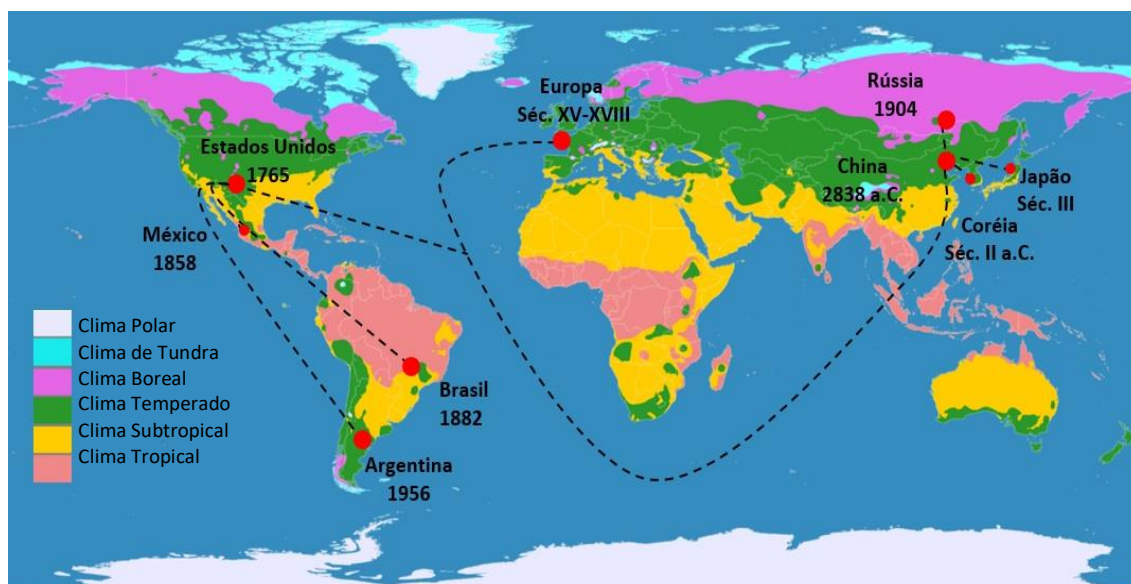


Figura 3. Origem e expansão da soja no mundo. Fonte: Adaptados de Bonetti (1981) e Peel et al. (2007).

O plantio da soja no Brasil iniciou em 1882 por Gustavo D’Utra no estado da Bahia (D’Utra, 1882), contudo, foi somente na década de 1940 no Rio Grande do Sul como alternativa de rotação para a cultura do trigo, que a produção do grão apresentou potencial econômico de comercialização (Brown et al., 2005). Em 1960, a soja no Brasil era cultivada principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, uma vez que as variedades de soja disponíveis naquela época tinham sido desenvolvidas para climas temperados (Sano et al., 2019a). Esforços para desenvolver novas variedades adaptadas às condições climáticas e às condições de acidez dos solos da região Centro-Oeste do Brasil a partir de meados da década de 1970 permitiram a expansão da soja não só em todos os estados do bioma Cerrado, mas também em alguns estados do bioma Amazônia (norte de Mato Grosso, Pará e Rondônia).

Estudos mais recentes relativos à expansão da soja no Cerrado (**Tabela 3**) têm discutido o seu avanço em direção ao bioma Amazônia, principalmente na região de ecótono Cerrado/Amazônia no norte do estado de Mato Grosso, como possível agente causador do desmatamento da floresta tropical (e.g., Arvor et al., 2012; Macedo et al., 2014; Spera et al., 2014; Picoli et al., 2018). Outras pesquisas têm enfatizado a retração

da soja no Cerrado paulista e goiano, substituída pela cana-de-açúcar para produção de biocombustível e açúcar (e.g., Rudorff et al., 2010; Adami et al., 2012). A mais nova fronteira agrícola do Cerrado, localizada na região norte do bioma e que engloba a porção sul do estado do Maranhão, Tocantins, sul do Piauí e oeste da Bahia (MATOPIBA), também tem merecido destaque na literatura recente (Noojipady et al., 2017; Spera, 2017; Araújo et al., 2019).

Tabela 3. Estudos da expansão da soja no bioma Cerrado utilizando dados espaciais: MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*)/ Terra EVI (*Enhanced Vegetation Index*), Landsat-5 TM (*Thematic Mapper*) e o índice Moran.

Publicação	Análise	Período	Dados Espaciais	Resultados
Arvor et al. (2012)	mudança de uso e cobertura da terra	2000-2007	MODIS/Terra EVI	aumento de 43% da área de expansão agrícola em Mato Grosso
Macedo et al. (2014)	mudança de uso e cobertura da terra	2001-2010	MODIS/Terra EVI	expansão das terras cultivadas com soja reduziu de 10% para 2% do desmatamento em Mato Grosso
Spera et al. (2014)	mudança no uso e cobertura da terra	2001-2011	MODIS/Terra EVI	aumento de 3,3Mha para 5,8Mha de área com agricultura mecanizada em Mato Grosso
Picoli et al. (2018)	mudança no uso e cobertura da terra	2001-2016	MODIS/Terra EVI	aumento significativo na taxa de estocagem dos gases de efeito estufa e possível abandono de áreas de pastagem abertas no Mato Grosso
Rudorff et al. (2010)	mudança de uso e cobertura da terra	2008-2009	Landsat-5 TM	a expansão da cana-de-açúcar, ocorreu em áreas de pastagens e de cultivo anual em São Paulo
Adami et al. (2012)	mudança de uso e cobertura da terra	2000-2009	MODIS/Terra e Landsat	a expansão da cana-de-açúcar ocorreu em áreas de pastagens ou terras agrícolas na região centro-sul do Brasil
Noojipady et al. (2017)	emissão de carbono	2003-2013	MODIS/Terra	a emissão de carbono aumentou em Matopiba,
Spera (2017)	mudança do uso da terra	2003-2016	MODIS/Terra EVI	produção agrícola pela intensificação das áreas em Matopiba
Araújo et al. (2019)	Mudança de uso e cobertura da terra	1990-2015	Estatística espacial Índice Moran	a produção de soja não ocorre aleatoriamente em Matopiba

Esses estudos demonstram que os fatores responsáveis pela rápida expansão agrícola no Cerrado, incluem: 1) os investimentos em tecnologia e pesquisas científicas para correção dos solos altamente lixiviados e ácidos e para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas às condições ambientais do Cerrado (Alho e Martins, 1995); 2) a ocorrência de seis meses de estação chuvosa, tipicamente, de outubro a março, favorável à instalação de agricultura de sequeiro, e principalmente do relevo plano em algumas regiões específicas do bioma, notadamente no oeste da Bahia, sul do Piauí, sul do Maranhão, sul de Goiás e parte central de Mato Grosso, favorável à mecanização intensiva (Sano et al., 2010); 3) o nível tecnológico e econômico relativamente elevado dos produtores rurais que migraram das regiões Sul e Sudeste do Brasil para o Cerrado (Campos, 2010); e 4) o estabelecimento de grandes companhias multinacionais de armazenamento e processamento de grãos.

2.3. Análise integrada de dados multisensor, multitemporal, multiescala e multifontes na avaliação da paisagem da cultura de soja no Cerrado

Com grande relevância econômica e social para o Brasil, a soja configura como um dos principais cultivos agrícolas do Cerrado, devido ao aumento da demanda mundial por alimentos, ampliação do poder aquisitivo da população e o potencial de diversificação dos produtos (Martinelli et al., 2017). O cultivo da soja no Cerrado contribui para que a produção nacional seja destinada em 44% para exportação do grão in natura, 49% utilizada no processamento de farelo e óleo, e 7% são estocadas para outros usos (APROSOJA, 2019). Os principais produtos do processamento da soja são o farelo e o óleo que possuem mais de 50% destinados à exportação, e os demais subprodutos originados do beneficiamento são utilizados no consumo doméstico para alimentação, ração animal e biodiesel (APROSOJA, 2019).

Análises espaciais da expansão da soja no Cerrado têm sido conduzidas por meio da sistematização de dados multifontes, multitemporal, multisensor e multiescala, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Censo Agropecuário, Produção Agrícola Municipal e Produto Interno Bruto) e/ou obtidos por satélites de resolução espacial moderada (sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* - MODIS) e intermediária (satélite Landsat) (Martinelli et al., 2010; Rudorff e Risso, 2015; Dias et al., 2016; Noojipady et al., 2017; Zalles et al., 2019). As consequências sociais, econômicas e ambientais dessa expansão acelerada e alternativas de contê-las (por exemplo, por meio da intensificação da agricultura e extensão da

moratória da soja para o Cerrado) também têm sido objeto de discussão em estudos conduzidos, por exemplo, por Spera (2017), Cattelan e Dall’Agnol (2018), Picoli et al. (2020) e Soterroni et al. (2019).

A identificação dos padrões de organização da paisagem é essencial para compreensão das consequências sociais, econômicas e ambientais decorrentes da ocupação agrícola do Cerrado e a descrição da área de estudo com análises baseadas na integração de dados de diferentes fontes, escalas, sensores e tempo é fundamental na avaliação desse processo, possibilitando verificar as potencialidades e limitações do uso da terra no contexto da paisagem (Santos et al., 2008). Além de assegurar avanço na produtividade e sustentabilidade ambiental, que em conjunto com a abordagem tecnológica no campo (e.g. sensoriamento remoto, automação e robótica, instrumentação avançada e tecnologia da informação e da comunicação) garante inovação e competitividade na agricultura (Lopes e Contini, 2012).

Dessa forma, a área de estudo da dinâmica da cultura de soja no bioma Cerrado, abrange aproximadamente 205 milhões de hectares¹ na porção central do Brasil, em parte dos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo, Tocantins, além do Distrito Federal (IBGE, 2004). Foi considerada a extensão territorial total de 109 microrregiões e 1.103 municípios (IBGE, 2016), com área igual ou superior a 50% dentro do bioma Cerrado (**Figura 4**).

O clima predominante no Cerrado é o Aw, que apresenta subtipo climático de savana, com duas estações bem definidas: um verão quente e úmido, com chuvas concentradas entre novembro e janeiro, e um inverno mais frio e seco, com estiagem entre julho e agosto. A precipitação média anual varia de 500 mm a 2.300 mm (média de 1.431 mm) (**Figura 5**) (Fick e Hijmans, 2017), aumentando de leste (transição com o bioma Caatinga) para oeste (transição com o bioma Amazônia), com temperaturas variando de 13 °C a 28 °C (Alvares et al., 2013; Sano et al., 2019b).

O Cerrado possui unidades geomorfológicas de chapadas, depressões, patamares, planaltos, planícies, serras e tabuleiros (**Figura 6**) (IBGE, 2009). As chapadas e tabuleiros correspondem a formas de relevo cujo topo é plano, a principal diferença entre essas duas formas é o posicionamento altimétrico na paisagem, mais elevado para as chapadas. Depressões são dominadas por relevos planos ou ondulados que estão situados abaixo das regiões vizinhas, enquanto os patamares (degraus)

¹ Em 2019 a extensão territorial do bioma Cerrado foi atualizada para aproximadamente 199 milhões de hectares (IBGE, 2019).

correspondem àquelas superfícies intermediárias entre os relevos mais elevados e mais rebaixados. Planaltos correspondem às formas de relevo planas ou suavemente onduladas geralmente posicionadas a altitudes elevadas. Quando posicionadas a altitudes baixas, denomina-se de planícies. Serras correspondem a relevos acidentados, com presença de cristas e cumes, ou às bordas escarpadas de planaltos.

Os principais solos encontrados no Cerrado (**Figura 7**) são os Latossolos que ocorrem em 49% do bioma (IBGE, 2007). Esse tipo de solo é altamente intemperizado e predominam em áreas planas. São caracterizados por serem solos profundos e bem drenados, possibilitando a sua utilização para a produção de culturas anuais e perenes, além de pastagens (Reatto et al., 2008). Os Neossolos Quartzarênicos ocupam 15% do Cerrado, estando associados a relevo suave ondulado e vegetação de Cerrado típico e Campo Cerrado. Sobre as áreas íngremes, predominam os Argissolos, distribuídos em 14% do bioma. Nesse tipo de solos, destacam-se a presença de Mata de galeria, Cerradão, Cerrado denso e Cerrado típico.

Aproximadamente 41% a 43% da área do Cerrado são ocupadas pelas culturas agrícolas e pastagens cultivadas (MMA, 2015; MapBiomas, 2020) (**Figura 8**). As culturas agrícolas concentram-se em porções mais específicas do bioma, tais como no oeste da Bahia, sudeste de Goiás e porção central de Mato Grosso, enquanto as pastagens cultivadas estão distribuídas em diferentes proporções na maioria das microrregiões. As áreas naturais remanescentes correspondem de 54% a 55% do bioma e são encontradas, notadamente, na porção norte do bioma (MMA, 2015; MapBiomas, 2020). Parte significativa dessas áreas remanescentes apresentam-se degradadas em diferentes níveis, devido às atividades ambientalmente insustentáveis de extração seletiva de madeira e ao uso descontrolado de queimadas, ameaçando a integridade e a conectividade dos habitats (Ferreira et al., 2012). Nesse sentido, a dinâmica de expansão das áreas de produção agrícola sobre a cobertura vegetal (Rudorff e Risso, 2015; Câmara et al., 2015) requer a implementação de inteligência territorial estratégica que mantenha a competitividade em conjunto com a manutenção dos recursos naturais.

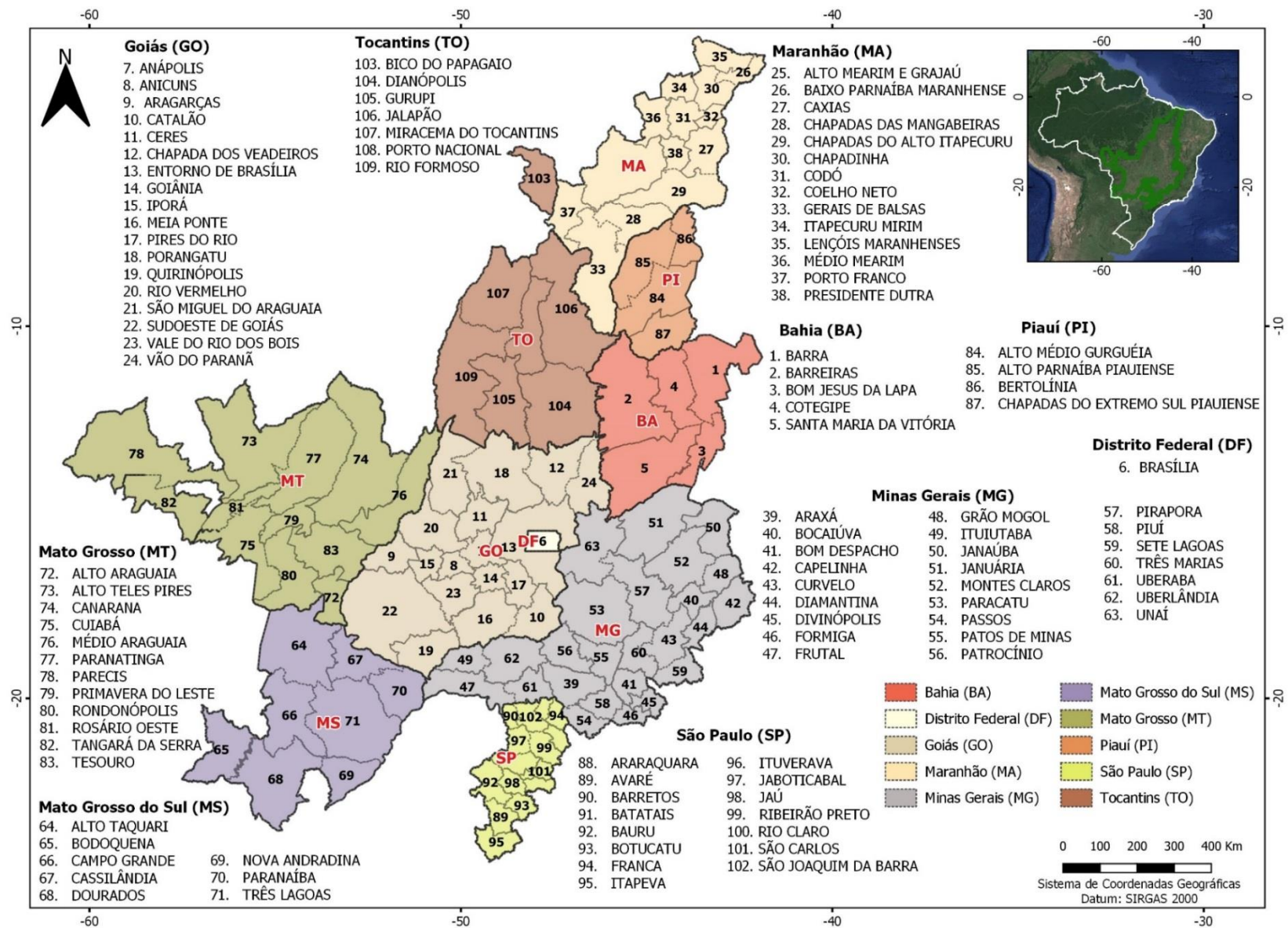


Figura 4. Localização das 109 microrregiões em parte dos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, São Paulo e Tocantins, coberta pelo bioma Cerrado, além do Distrito Federal. Fonte: IBGE (2016).

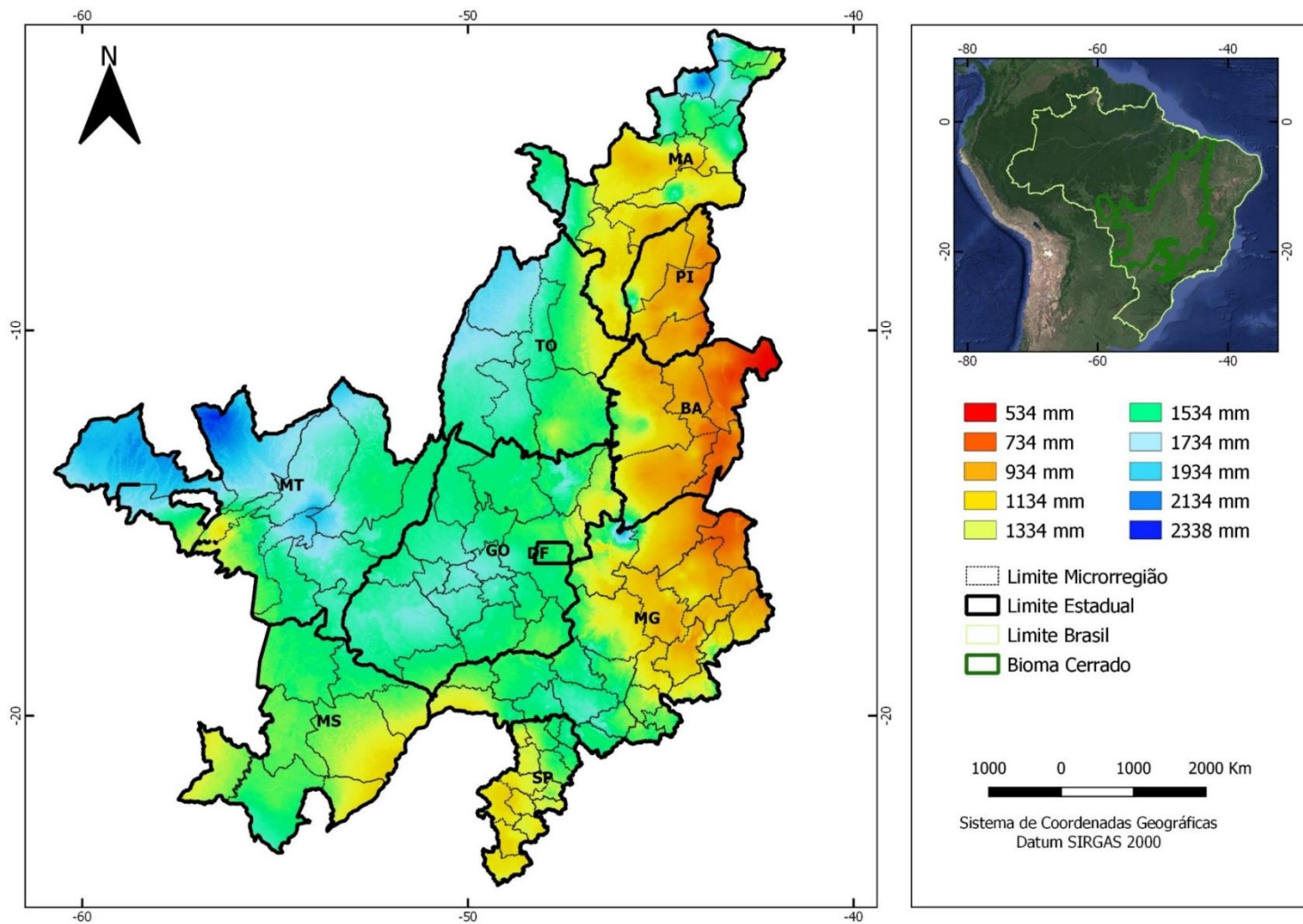


Figura 5. Precipitação média anual das 109 microrregiões localizadas no bioma Cerrado. Fonte: Fick e Hijmans (2017).

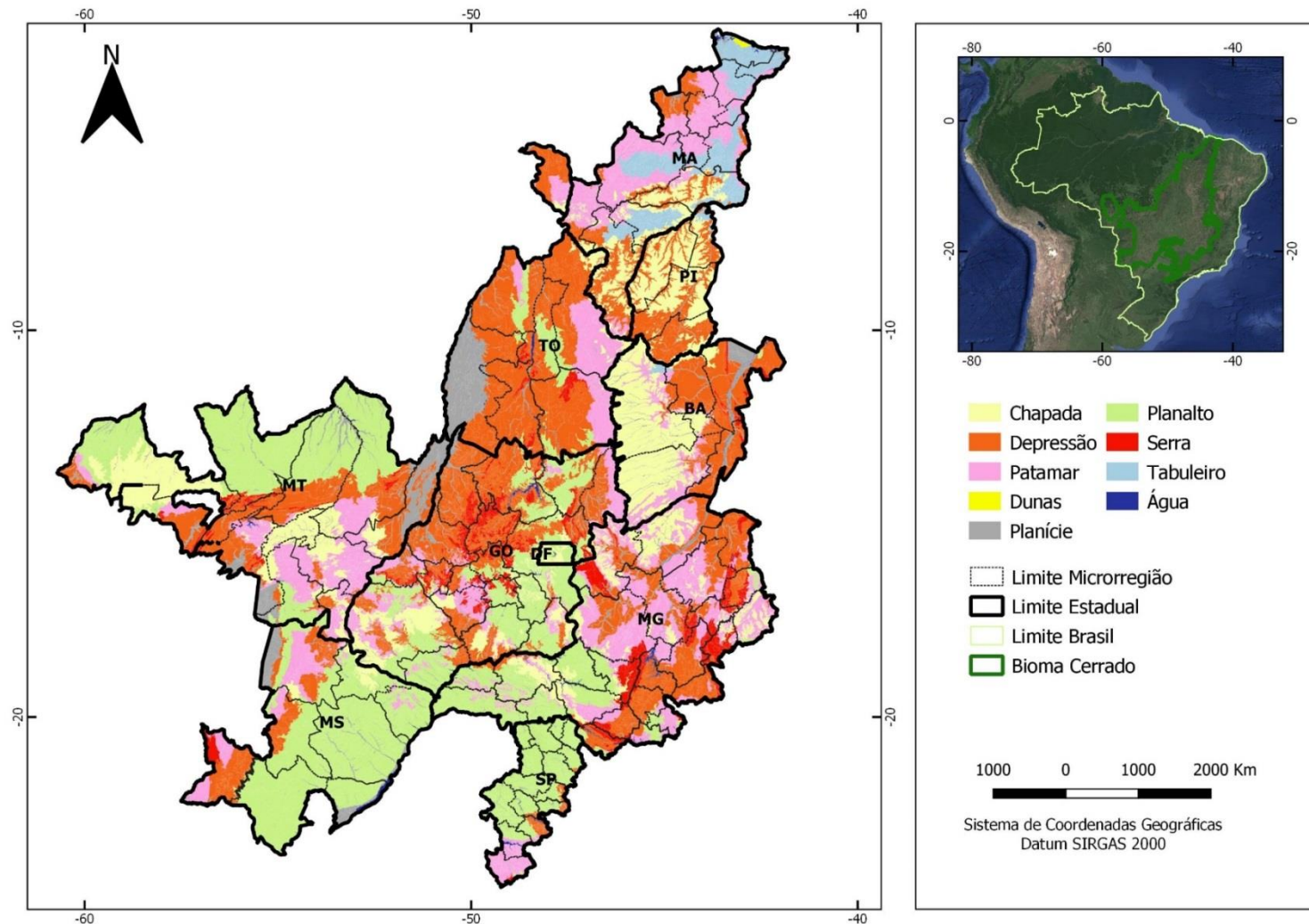


Figura 6. Unidades geomorfológicas das 109 microrregiões localizadas no bioma Cerrado. Fonte: IBGE (2009).

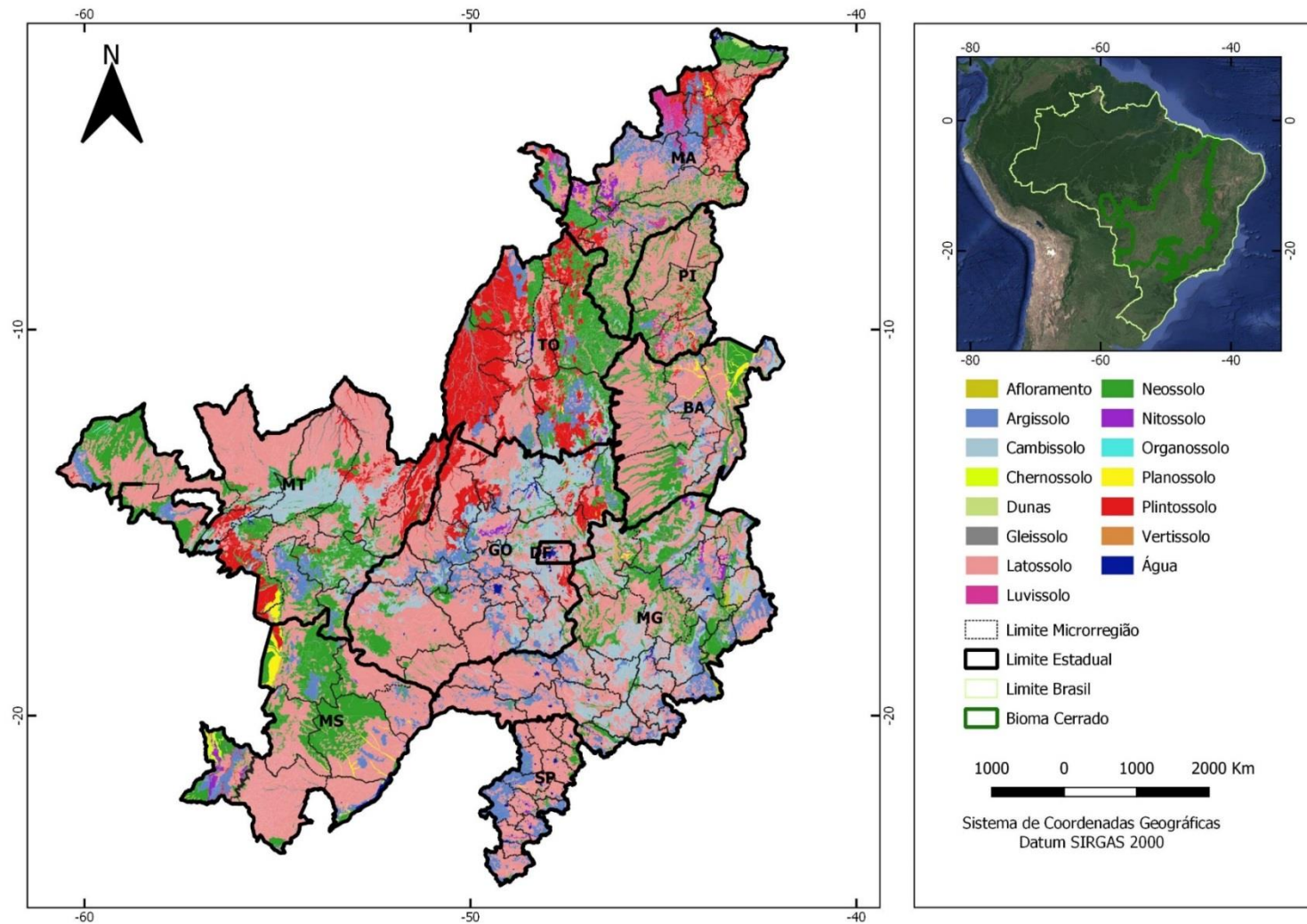


Figura 7. Unidades pedológicas das 109 microrregiões localizadas no bioma Cerrado. Fonte: IBGE (2007).

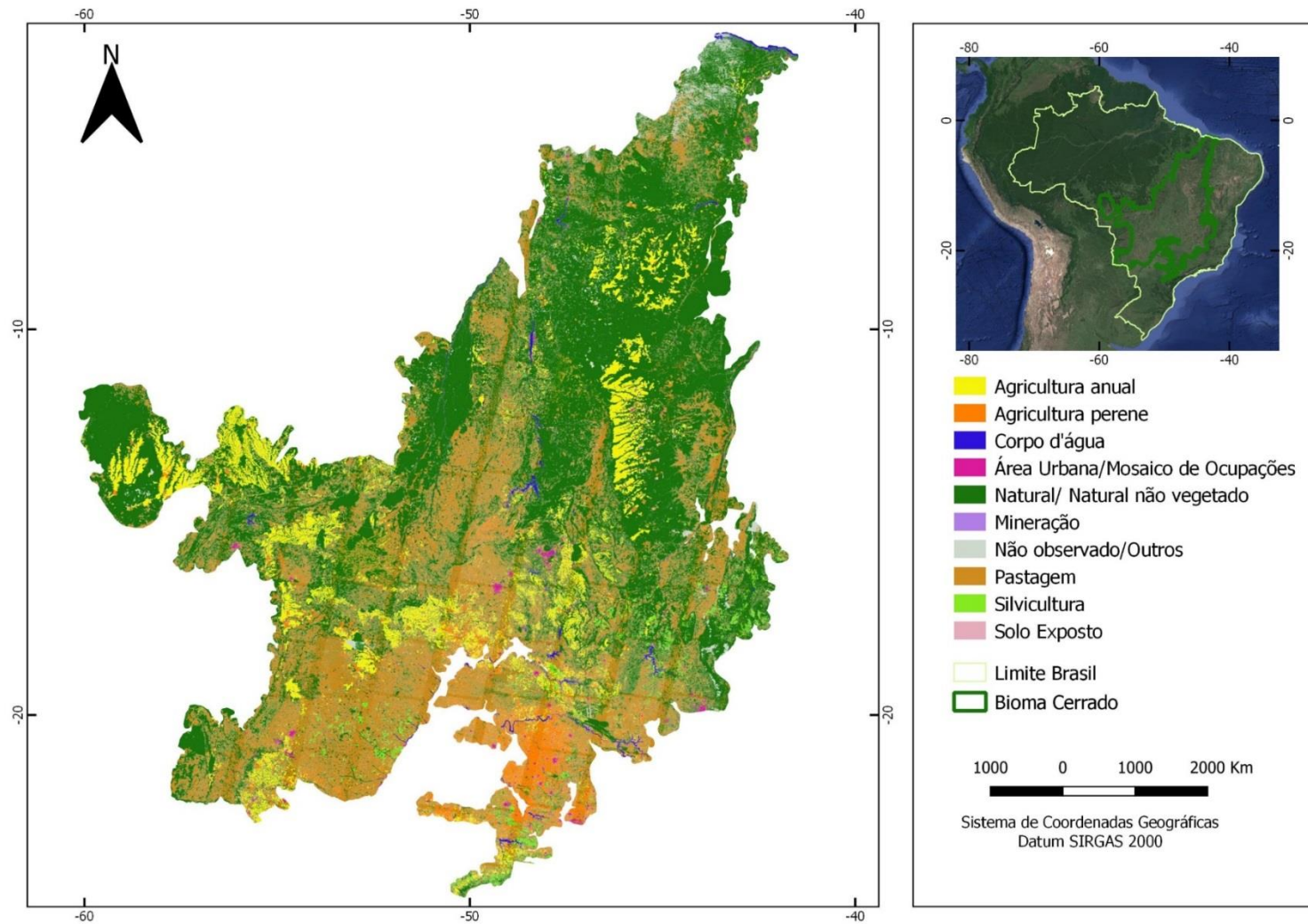


Figura 8. Mapa de uso e cobertura da terra do bioma Cerrado ano base 2013. Fonte: MMA (2015).

2.4. Agricultura sustentável no Cerrado

Diante da importância ecológica do Cerrado em termos nacionais e mundiais, verifica-se a necessidade imediata de conservação dos recursos naturais que, no decorrer do tempo, tem seus habitats destruídos ou degradados pelas queimadas, crescimento urbano desordenado e expansão da fronteira agrícola e pecuária (Ganem et al., 2013). De extrema importância para os processos ecossistêmicos, o clima, a geomorfologia, os solos, a frequência de queimadas e a profundidade do lençol freático são os principais fatores que influenciam na formação de diferentes fitofisionomias florestais, savânicas e campestres do Cerrado (**Figura 9**), favorecendo a biodiversidade existente no bioma (Eiten, 1994; Ratter, 1997; Furley, 1999; Ribeiro e Walter, 2008; Lopes et al., 2011).

Por exercer papel fundamental na economia do país, torna-se essencial compatibilizar o manejo agrícola do Cerrado com a conservação das áreas naturais desse ecossistema. A eficiência dos sistemas agrícolas está associada a combinações de diferentes usos da terra, no qual aspectos de dinâmica espacial e temporal e padrões da paisagem são fatores de grande relevância na produtividade agrícola, pois eles influenciam nos vários níveis de diversidade, manutenção dos ecossistemas e valores associados à biodiversidade (Swift et al., 2004; Altieri, 2009).

A biodiversidade na agricultura não é definida por um único fator condicionante, mas pela combinação de diversos elementos da paisagem que auxiliam na ciclagem dos nutrientes, regulação do microclima e de processos hidrológicos locais (Altieri, 1999). O planejamento das atividades da agricultura sustentável requer uma visão integradora dos componentes agroecossistêmicos, onde sistemas mais diversos possuem menor investimento de trabalho e insumos, devido à existência do equilíbrio ecológico necessário para manter as condições favoráveis de produtividade agrícola (Altieri, 2002).

O manejo sustentável de um agroecossistema é destinado à otimização dos processos de fluxo de nutrientes, conservação da superfície dos solos, conservação dos recursos naturais e manutenção da biodiversidade (Rasche e Cadisch, 2013). Esse sistema agrícola possui uma agricultura baseada nos fluxos energéticos dos sistemas ecológicos, que mantém a qualidade do ambiente e conservam os recursos naturais, assegurando produtividade sustentável a longo prazo (Pretty, 1995; Paterniani, 2001).

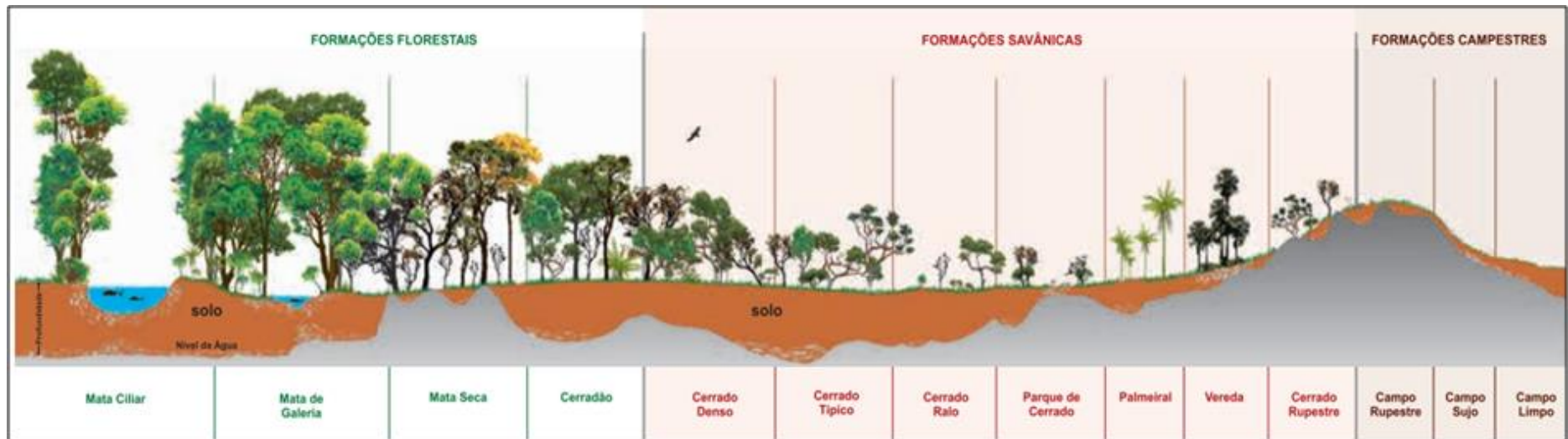


Figura 9. Fitofisionomias do bioma Cerrado. Fonte: Ribeiro e Walter (2008).

Os agroecossistemas constituem uma integração de componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas naturais que são modificados por atividades antrópicas, cuja finalidade é a produção de alimentos e demais produtos para consumo humano (Altieri, 2002; 2009). O reaproveitamento do gasto energético na estrutura física e biológica dos ecossistemas naturais para manter a estabilidade biótica é a principal diferença nos agroecossistemas, que possuem essa capacidade de reaproveitamento limitada, sendo necessário o complemento de insumos externos (e.g., trabalho humano, trabalho animal e utilização de maquinário) para obtenção da ciclagem de nutrientes e equilíbrio da fauna e flora (Odum, 1984; Nicholls e Altieri, 2013).

O entendimento do funcionamento dos ecossistemas naturais possibilita a sustentabilidade dos agroecossistemas à medida que se utiliza o mínimo de insumos artificiais externos ao sistema de produção agrícola e ocorre o manejo adequado do solo, matéria orgânica, água, vegetação, micro e mesofauna por meio dos mecanismos reguladores internos, além da capacidade de restabelecer seu equilíbrio após distúrbios causados pelo manejo e colheita (Gliessman, 2000). No Cerrado, as práticas sustentáveis possuem maior resistência por parte dos produtores agrícolas que desejam maximizar os lucros em curto prazo, sem considerar a conservação dos recursos naturais das áreas utilizadas para a agricultura, sendo de extrema importância a inversão desse raciocínio para manutenção da agrobiodiversidade (Wood et al., 2015).

Com a divulgação de informações acerca dos impactos ambientais causados no Cerrado pela produção agrícola (Trancoso et al., 2015), as diretrizes para o desenvolvimento econômico necessariamente precisam lidar com as questões da maximização da produção de alimentos com as tecnologias disponíveis e com a progressiva degradação do meio ambiente. Dessa forma, estratégias que englobam políticas sociais, econômicas e ambientais auxiliam na preservação e conservação dos recursos naturais e consolidam o desenvolvimento sustentável e mobilização contínua da sociedade (Almeida et al., 2006).

Dentre as principais estratégias para implantação de práticas sustentáveis no Cerrado, destacam-se as ações desenvolvidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) desde 2003 por meio do Programa Nacional de Conservação e Uso Sustentável do Bioma Cerrado com a finalidade de: a) valorizar o Cerrado por meio da educação, comunicação e conscientização; b) apoderar a sociedade para garantir a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais do Cerrado; c) propor abordagem ecossistêmica para a gestão da biodiversidade na avaliação das dinâmicas territoriais do Cerrado; d)

adotar transversalidade e descentralização nas ações do governo sobre o Cerrado; e e) ampliar a escala de esforços de conservação e uso sustentável dos recursos naturais do Cerrado.

No âmbito nacional, foi lançado em 2010 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a partir da Lei nº 12.187/09 e do artigo 3º do Decreto nº 7.390/2010, o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) (MAPA, 2012), no intuito de atender os compromissos firmados na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2009 (COP15). Com objetivo principal de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor agropecuário, o projeto envolve ações de recuperação de pastagens degradadas, integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e sistemas agroflorestais (SAFs), sistemas de plantio direto (SPD), fixação biológica de nitrogênio (FBN), florestas plantadas, tratamento de dejetos de animais e adaptação às mudanças climáticas, conforme descrição na **Tabela 4** (MAPA, 2012).

Tabela 4. Objetivos do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC).

Ações	Especificações
Recuperação de Pastagens Degradadas	A recuperação de pastagens degradadas e a manutenção da produtividade das pastagens contribuem para mitigar a emissão dos gases do efeito estufa.
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs)	A iLPF é uma estratégia de produção sustentável que integra atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema. Os SAFs são descritos como sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas e forrageiras, em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações desses componentes.
Sistema Plantio Direto (SPD)	O SPD consiste em processos tecnológicos destinados à exploração de sistemas agrícolas produtivos, compreendendo mobilização de solo apenas na linha ou cova de semeadura, manutenção permanente da cobertura do solo, diversificação de espécies e minimização ou supressão do intervalo de tempo entre colheita e semeadura.

Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)	A FBN é amplamente reconhecida, pois reduz o custo da produção e os riscos para o meio ambiente pela diminuição de emissão de gases de efeito estufa, além de elevar o conteúdo de matéria orgânica (sequestro de carbono) e melhorar a fertilidade do solo.
Florestas Plantadas	A produção de florestas plantadas (econômicas) nas propriedades rurais possui quatro objetivos básicos: implantar uma fonte de renda de longo prazo para a família do produtor; aumentar a oferta de madeira para fins industriais; reduzir a pressão sobre as matas nativas; e capturar CO ₂ da atmosfera, reduzindo os efeitos do aquecimento global.
Tratamento de Dejetos Animais	A correta destinação dos dejetos e efluentes da criação de animais estabulados tem-se constituído como um importante fator que condiciona a regularidade ambiental das propriedades rurais.
Adaptação às Mudanças Climáticas	A adaptação às mudanças climáticas deve ser parte de um conjunto de políticas públicas de enfrentamento das alterações do clima.
Ações Transversais do Plano ABC	Tem como objetivo promover a complementaridade das demais ações definidas nos programas, contribuindo, também, para a consecução dos compromissos assumidos pelo Brasil.
Monitoramento do Plano ABC	Faz-se necessário que o Brasil desenvolva estratégias de monitoramento garantindo que as reduções previstas nos Planos Setoriais serão passíveis de contabilização e comprovação em 2020.

Fonte: MAPA (2012).

A Gestão Integrada da Paisagem no Bioma Cerrado, denominada de Projeto de Paisagens Rurais, é outra iniciativa lançada em 2019 para adoção de práticas agrícolas sustentáveis, com conservação e recuperação ambiental, e baixa emissão de carbono em bacias selecionadas do bioma Cerrado (SFB, 2019). O intuito do projeto é o desenvolvimento de atividades para recuperação e conservação da vegetação de áreas de preservação permanente (APP) e reserva legal (RL), além de disseminar o uso de práticas de agricultura sustentável, como a ILPF e a recuperação de pastagens degradadas que contribuem para o planejamento do uso da terra e conciliam a produção agrícola com a conservação da biodiversidade, alcançando a implementação do Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012) nos imóveis rurais (SFB, 2018).

As políticas públicas de agricultura sustentável são estratégias de extrema relevância para a gestão dos recursos naturais e o planejamento territorial eficiente, e quando subsidiadas por ferramentas de identificação de áreas homogêneas (e.g. modelos

de estatística espacial), possibilita maior precisão no manejo agrícola, com aplicação de insumos e investimentos tecnológicos de maneira localizada de acordo com a variabilidade espacial, auxiliando, portanto, nas tomadas de decisões estratégicas e complexas em relação ao gerenciamento do sistema de produção agrícola (Grego et al., 2014).

2.5. Modelos de estatística espacial

A definição do modelo adequado para inferência das relações espaciais do fenômeno estudado é determinada de acordo com os resultados da análise exploratória, devido às especificidades de cada dado e cada modelo estatístico (Câmara et al., 2004; Childs, 2004). Os principais modelos existentes para análise espacial de dados geográficos são a ponderação do inverso das distâncias (IDW), Kernel, regressão polinomial, polinomial local e as funções de base radial. Tratando-se de autocorrelação espacial, existem os métodos de Krigagem, Geary (C), Getis e Ord (G_i e G_i^*), Índice de Moran Global (I) e o Índice de Moran Local (I_i).

A autocorrelação espacial (positiva) é, em síntese, definida de acordo com a primeira lei da geografia de Tobler (1979), que considera todos os objetos no espaço semelhantes, sendo que os objetos mais próximos apresentam maior semelhança que os mais distantes. A condição principal para quantificar a autocorrelação espacial dos fenômenos geográficos está na estacionariedade desses dados, que consiste na variação gradual de forma aleatória no decorrer do tempo, com comportamento estável e equilibrado em torno de uma média (Legendre, 1993).

Dentre os métodos mais utilizados e consolidados para analisar a autocorrelação espacial, destacam-se o Índice de Moran Global (I) e o Índice de Moran Local (I_i) (Anselin, 1993; 1995). O Índice de Moran Global (I) possibilita mensurar o grau de associação espacial dos dados existentes, com a hipótese nula de independência espacial, ou seja, distribuição aleatória desses dados no espaço geográfico, sem relação com a localização. Considera-se que uma variável apresenta autocorrelação espacial quando os valores da variável de interesse observados em pares de locais com certa distância geográfica entre si são mais similares (autocorrelação positiva) ou menos similares (autocorrelação negativa) que o esperado para valores observados em pares de localidades escolhidos ao acaso (Legendre, 1993; Pinto et al., 2003). Esse índice varia

de -1 a 1, onde os valores positivos significam correlação direta e os negativos, correlação inversa.

O Índice de Moran Local (I_i) é uma decomposição do Índice de Moran Global (I) e possibilita analisar os padrões de autocorrelação espacial em maior detalhe, produzindo um valor específico para cada objeto e permitindo identificar *clusters High-High* (HH) e *Low-Low* (LL) que indicam associação espacial positiva, em que o objeto analisado possui vizinhos com valores semelhantes, e os *outliers* como *High-Low* (HL) e *Low-High* (LH) que significa correlação espacial negativa em que a variável apresenta regime espacial com valores diferentes dos seus vizinhos (Zhang et al., 2008) (**Figura 10**).

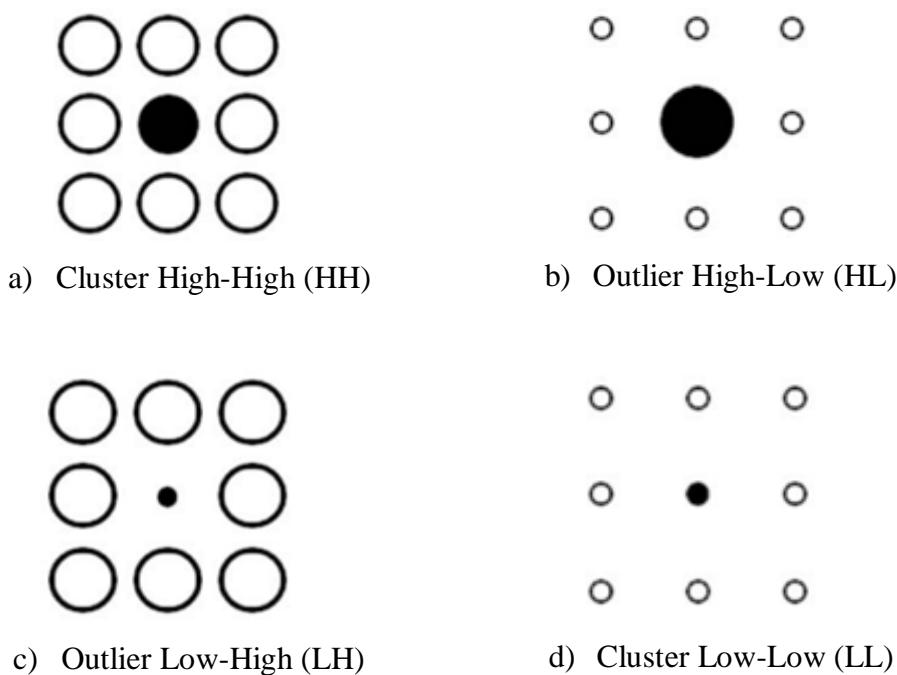


Figura 10. Relação de vizinhança dos padrões de autocorrelação espacial: a) cluster High-High (HH), b) outlier High-Low (HL), c) outlier Low-High (LH) e d) cluster Low-Low (LL). Fonte: Zhang et al. (2008).

Esta metodologia foi aplicada por Clemente et al. (2017) ao avaliar a dinâmica espaço-temporal da cultura do feijão no Brasil entre 1990 a 2013, com resultados que indicaram padrões distintos e significativos para a produção de feijão no país, no qual a região Nordeste apresentou agrupamentos LL para a produção agrícola e HH para as áreas colhidas. As regiões Sul e Sudeste apresentaram agrupamento HH para ambas variáveis.

Araújo et al. (2019), ao avaliar a dinâmica espaço-temporal da produção e produtividade de soja na região de MATOPIBA entre 1990 e 2015, demonstraram autocorrelação positiva e significativa de agrupamentos concentrados no Oeste da Bahia e região central da área de estudo, além de uma tendência de diminuição da produtividade no decorrer do tempo.

Santos e Naval (2019) utilizaram o I e o Ii para analisar a variação interanual e espacial da pegada hídrica da produção de soja na fronteira agrícola de MATOPIBA, no período de 1999 a 2018, e obtiveram agrupamentos das microrregiões com maior consumo de água, nas áreas de transição Cerrado/Caatinga, enquanto as áreas com menor consumo se encontravam agrupadas próximos do Cerrado/Amazônia.

Picoli et al. (2020) analisaram a efetividade das políticas públicas e do setor privado na trajetória de expansão agrícola no estado de Mato Grosso em 2005 (pré-moratória e antes do novo Código Florestal), 2010 (pós-moratória e antes do novo Código Florestal) e 2017 (pós-moratória e pós novo Código Florestal). Os índices I e Ii resultaram em valores positivos e significativos para os modelos de dependência espacial de expansão da soja e das pastagens.

Deste modo, verifica-se que a estatística espacial possui diversas aplicações na agricultura, como a caracterização e modelagem espacial e temporal que viabiliza o monitoramento intensivo no campo, com conhecimento preciso da variabilidade espacial do ambiente agrícola (McBratney et al., 2005). Por configurar em uma importante ferramenta de análise espaço-temporal, permite ainda a identificação dos principais fatores que controlam o desenvolvimento agrícola de uma região, contribuindo para a definição de estratégias de aplicação de recursos e redução de impactos sociais e ambientais (Clemente et al., 2017; Araújo et al., 2019).

CAPÍTULO 3

EXPANSÃO DA SOJA NO CERRADO ANALISADA POR MEIO DE ESTATÍSTICA ESPACIAL ENTRE 1974 E 2014 ^(*)

(*) Versão em inglês deste capítulo submetida à revista Environment, Development and Sustainability

3.1. Questões de pesquisa

- Existe algum padrão espacial na dinâmica da produção de soja no Cerrado no período de 1974 a 2014?
- Em caso afirmativo, esses padrões espaciais da produção da soja no Cerrado refletem as aptidões locais ou regionais?
- Esses padrões espaciais do cultivo de soja no Cerrado variam sistematicamente no intervalo de tempo de 40 anos (1974 a 2014)?

3.2. Objetivo do estudo

O objetivo deste estudo foi analisar a expansão da produção de soja no Cerrado por meio de estatística espacial, entre os anos de 1974 a 2014.

3.3. Materiais e métodos

3.3.1. Sistematização dos dados

Foram utilizados dados anuais da Produção Agrícola Municipal (PAM) dos cultivos de soja das 109 microrregiões do bioma Cerrado, disponibilizados pelo IBGE por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) (<http://www.sidra.ibge.gov.br>). Considerou-se os dados de 1974, 1984, 1994, 2004 e 2014, totalizando um intervalo de 40 anos de análise do panorama espaço-temporal da produção (t) dessa principal *commodity* agrícola do Cerrado. A PAM disponibiliza informações sobre área plantada, área destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e preço médio pago ao produtor para produtos agrícolas

das lavouras temporárias e das lavouras permanentes, em nível nacional, grandes regiões, unidades da federação, mesorregiões, microrregiões e municípios (IBGE, 2017a). A primeira coleta dessas informações agropecuárias foi realizada em 1938 pelo Ministério da Agricultura, tendo sido transferida ao IBGE em 1974 por meio do Decreto nº 73.482. No decorrer dos anos, o IBGE tem aprimorado a forma de obtenção e consolidação desses dados que é realizada por meio de consulta às entidades públicas e privadas relacionadas à agricultura e aos produtores rurais que são, em maioria, pessoas do sexo masculino, de cor branca ou parda, na faixa etária de 35 a 64 anos, com nível de escolaridade básico ou médio (IBGE, 2017b).

Como a delimitação do bioma Cerrado seguiu as características ambientais (principalmente de cobertura vegetal) e os dados do IBGE seguem os limites geopolíticos, a sistematização dos dados da PAM foi feita considerando-se apenas as microrregiões com áreas iguais ou superiores a 50% inseridas dentro do limite do bioma Cerrado ano-base 2004.

3.3.2. Estatísticas espaciais e não-espaciais

Uma das estatísticas utilizadas neste estudo foi o índice de Gini, que varia de 0 a 1 sendo que o valor zero representa situação de igualdade (todas as microrregiões produzem igual quantidade de soja), enquanto o valor unitário representa a situação oposta, isto é, apenas uma única microrregião é responsável pela produção de toda a soja no Cerrado. Neste estudo, os índices de Gini foram calculados com base na curva de Lorenz (Lorenz et al., 1905), elaborada com suporte da planilha MS Excel™.

A análise espacial foi realizada investigando-se o grau de autocorrelação espacial entre as microrregiões (unidades amostrais) vizinhas. A condição principal para quantificar a autocorrelação espacial dos fenômenos geográficos está na estacionariedade desses dados, que consiste na variação gradual de forma aleatória no decorrer do tempo, com comportamento estável e equilibrado em torno de uma média (Legendre, 1993).

Para analisar os padrões e tendências espaciais na região de estudo, elaborou-se, inicialmente, uma matriz de peso espacial para quantificar a estrutura de dependência espacial das microrregiões (Anselin, 1995). Utilizou-se a matriz de contiguidade *Queen* de primeira ordem, na qual todas as microrregiões que possuem intersecção com a microrregião analisada são consideradas vizinhas. Em seguida, foi calculado o índice de

Moran Global (I) com o objetivo de verificar o grau de autocorrelação espacial entre os vizinhos, isto é, se os mesmos estão agrupados ou se são aleatórios. Esse índice varia de -1 a 1, onde os valores positivos significam correlação direta e os negativos, correlação inversa.

Foi aplicado ainda o índice de Moran local (I_i) que possibilita análise mais detalhada dos padrões de correlação espacial por meio de identificação de *clusters*, *outliers* e diferentes padrões espaciais presentes na área de estudo (Cliff e Ord, 1981; Anselin, 1996). Para analisar a significância estatística dos cálculos do I e I_i , foi feito o teste de pseudo-significância, executando-se 999 permutações dos valores de produção de soja de cada microrregião. Cada permutação produz um novo arranjo espacial e os valores são redistribuídos entre as áreas (Câmara et al., 2004). Nesse arranjo espacial, os índices de Moran global e local são calculados empiricamente, demonstrando a probabilidade de a distribuição ocorrer ao acaso. Se o valor originalmente observado do índice Moran corresponder ao extremo da distribuição simulada, trata-se de valor com significância estatística e rejeita-se a hipótese nula de não correlação espacial entre as regiões. Os valores de I e I_i foram calculados com base na função denominada *Anselin Local Moran's I*, disponível no programa ArcGIS 10.7. Os seguintes parâmetros foram utilizados: relação espacial = somente arestas de contiguidade e 999 permutações.

O conjunto de dados selecionado foi ainda analisado em termos de taxa de crescimento relativo (TCR) e em termos de grupo de cinco maiores produtores de soja (G5) em 1974, 1984, 1994, 2004 e 2014. A TCR, que corresponde a um índice de diferença normalizada e representa a medida de alguma mudança em porcentagem e em um determinado intervalo de tempo, é calculada pela seguinte fórmula (e.g., Maranhão et al., 2019) (Eq. 1):

$$TCR = \frac{\text{Produção de soja em } t_f - \text{Produção de soja em } t_i}{\text{Produção de soja em } t_i} \times 100 \quad (1)$$

onde t_f = determinado ano (por exemplo, 2014); e t_i = ano antecedente (por exemplo, 1994). Neste estudo, o cálculo da TCR levou em consideração um período de 20 anos (1994 a 2014) e as microrregiões com produção superior a 100.000 toneladas de soja em 1994. Esta taxa tem sido aplicada na análise de outros produtos no Brasil, tais como a carne bovina (McManus et al., 2016) e feijão (Clemente et al., 2017).

3.4. Resultados e discussão

3.4.1. Panorama da produção de soja no Cerrado

A produção de soja no Cerrado, no período de 1974 a 2014, acompanhou a tendência de crescimento similar à da produção nacional (**Figura 11**). Em 1974, a produção no Cerrado foi de aproximadamente 740 mil toneladas, atingindo 47,5 milhões de toneladas em 2014, isto é, um aumento de 3.800%. Em termos nacionais, a produção aumentou de 7,8 milhões para 86,7 milhões de toneladas no mesmo período, ou seja, um aumento de 555%. Em 1974, o Cerrado contribuiu com 9% da produção nacional, passando para 55% em 2014. De 1977 a 1986, houve uma tendência de aumento contínuo e expressivo da contribuição do Cerrado, chegando à marca de 48% em 1986.

Esse aumento expressivo de produção verificado no período de 1977 a 1986 para o Cerrado foi consequência da inserção de políticas públicas para melhoria da infraestrutura logística, fornecimento de crédito rural aos produtores e dos investimentos na criação da Embrapa Cerrados em 1975, para o desenvolvimento de pesquisas de correção da acidez de solos, toxidez de alumínio e baixa fertilidade de solos, além do avanço de novas variedades de soja mais adaptadas às condições de clima tropical (Hosono et. al., 2016; Nakashima et al., 2018). Crocomo e Spehar (1981) emitiram um comunicado técnico destacando o desenvolvimento de uma nova variedade de soja denominada de “Doko”, caracterizada pela boa tolerância às concentrações elevadas de alumínio e elevada capacidade de aprofundamento das raízes. De acordo com Nehring (2016), esse lançamento impulsionou o potencial produtivo do Cerrado. Conforme ressaltado anteriormente, a combinação de uma boa distribuição de chuvas no verão (novembro a janeiro) (Lima, 2011) e a presença de extensas áreas de relevo plano que permitem a mecanização (Assis et al., 2016), foram outros parâmetros importantes que contribuíram para o avanço da soja no Cerrado (Sanches et al., 2004). A partir de meados da década de 1990, a contribuição do Cerrado ficou na faixa de 50% a 60%, na maioria dos anos.

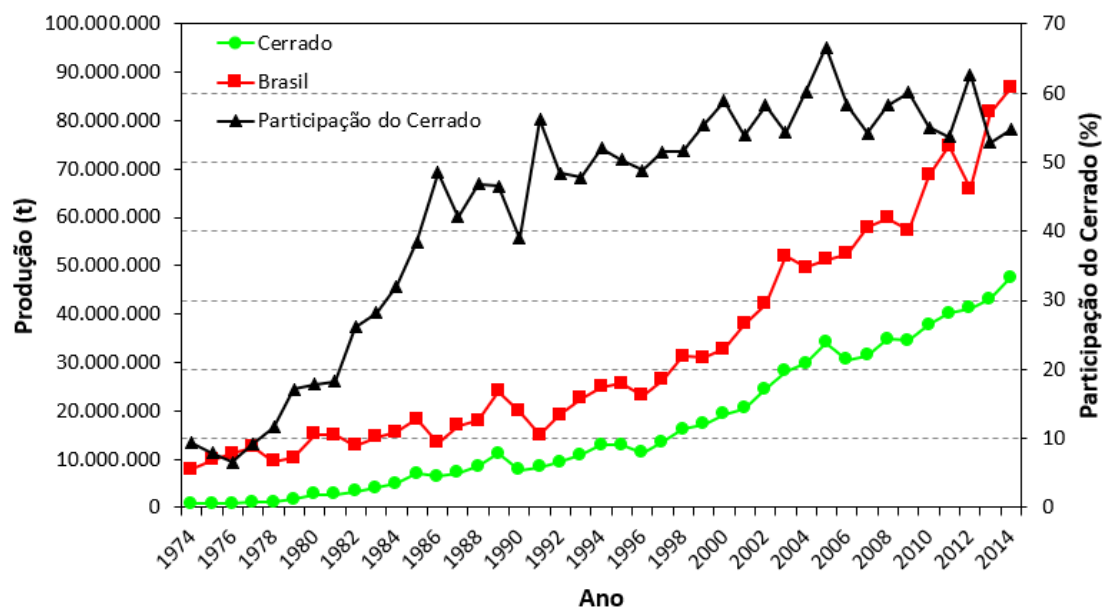


Figura 11. Relação entre a produção de soja no Cerrado e no Brasil no período de 1974 a 2014. Fonte: IBGE (2017a).

Na **Figura 12**, é mostrado o panorama da produção de soja em termos de extremos e quartis. Em todos os anos analisados, há pelo menos uma microrregião considerada discrepante (*outlier*) que, em caso deste estudo, corresponde à microrregião com produção destacadamente maior em relação às demais microrregiões. O número de microrregiões discrepantes foi aumentando ao longo do tempo, assim como a produção total no bioma. Dourados, no estado de Mato Grosso do Sul, foi a única microrregião que esteve presente em todos os cinco anos analisados.

O grupo formado pelas cinco principais microrregiões produtoras de soja (G5) modificou-se acentuadamente no período de 1974 a 2014 (**Tabela 5**). Com exceção da microrregião de Dourados, que aparece em todos os anos, as outras quatro localizadas nos estados de São Paulo e Goiás que se destacaram em 1974 deixaram de figurar nos outros anos. Meia Ponte em Goiás foi substituída pela microrregião vizinha do Sudoeste de Goiás. A contribuição do G5 na produção total do bioma foi acentuada em 1974 (75%), porém, oscilou entre 43% a 48% a partir desse ano.

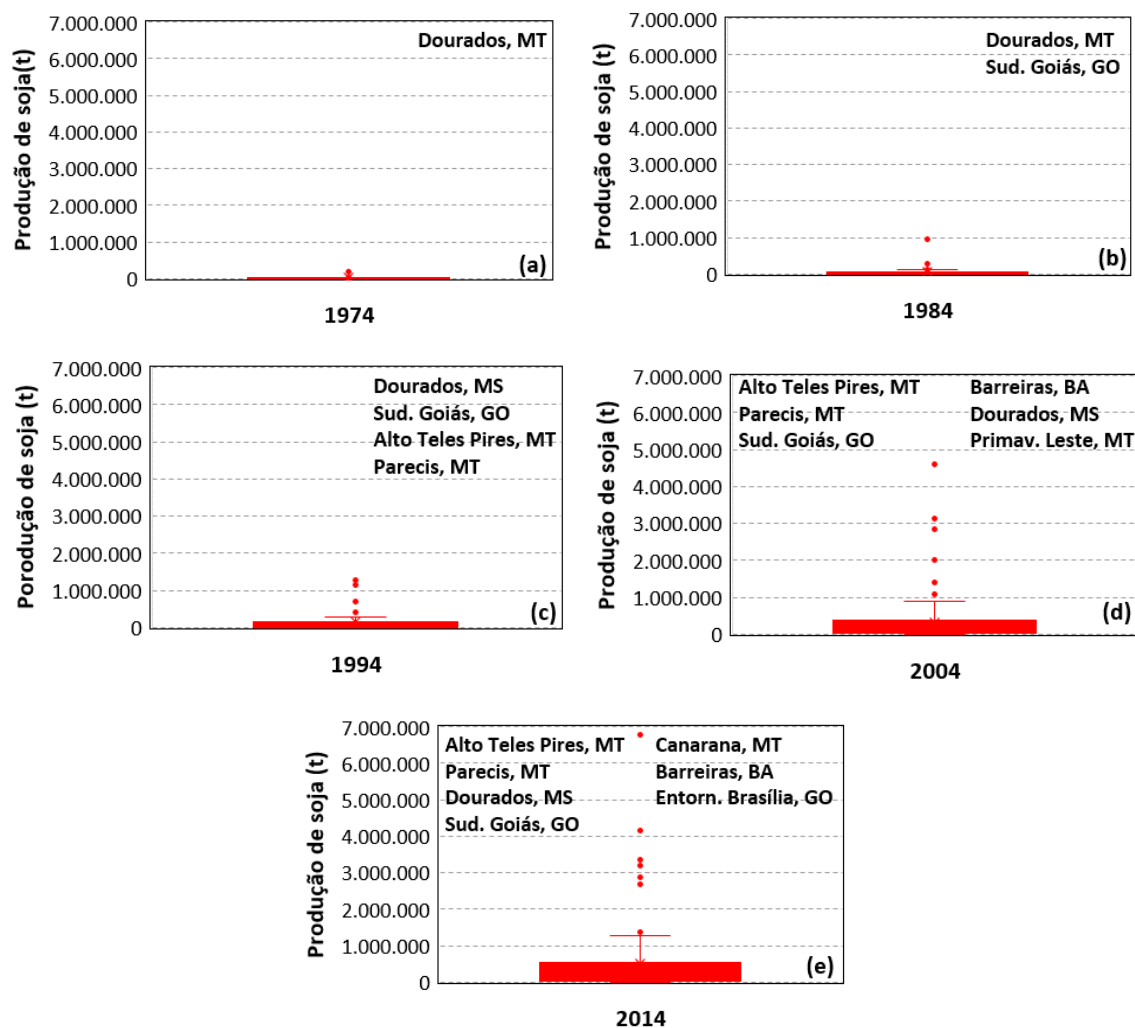


Figura 12. Diagramas de extremos e quartis da produção de soja no Cerrado em termos de microrregiões produtoras nos anos de 1974 (a), 1984 (b), 1994 (c), 2004 (d) e 2014 (e). As microrregiões listadas em cada diagrama correspondem àquelas discrepantes (*ouliers*).

Tabela 5. Microrregiões integrantes do grupo de cinco maiores produtores de soja do bioma Cerrado em 1974, 1984, 1994, 2004 e 2014.

Estado	Microrregião	Ano				
		1974	1984	1994	2004	2014
MS	Dourados	x	x	x	x	x
SP	São Joaquim da Barra	x				
GO	Meia Ponte	x				
SP	Ribeirão Preto	x				
SP	Ituverava	x				
GO	Sudoeste de Goiás		x	x	x	x
MS	Alto Taquari		x			
MT	Rondonópolis		x	x		
MT	Campo Grande		x			
MT	Alto Teles Pires			x	x	x
MT	Parecis			x	x	x
BA	Barreiras				x	
MT	Canarana					x
Porcentagem do total		75%	48%	43%	46%	47%

Fonte: IBGE (2017a).

3.4.2. Dinâmica espaço-temporal da produção de soja no Cerrado

Na **Figura 13**, são mostradas as microrregiões que apresentaram as maiores taxas de crescimento na produção de soja em um período de 20 anos (1994 a 2014). Pela primeira vez neste estudo, foram destacadas as microrregiões goianas do Entorno de Brasília e Catalão com crescimento superior a 350%. Grande parte deste destaque é decorrente do aumento expressivo nas áreas plantadas com soja nos municípios de Cristalina (microrregião de Catalão) e Formosa (microrregião do Entorno de Brasília). Apesar da maioria das microrregiões terem apresentado taxas positivas de crescimento, três microrregiões localizadas na região sul do Cerrado chamaram atenção por causa das taxas negativas: Três Lagoas em Mato Grosso do Sul e Ituverava e São Joaquim da Barra no estado de São Paulo. A redução significativa da produção de soja nessas microrregiões tiveram como fatores determinantes a conversão dessas áreas para silvicultura (Três Lagoas) e cana-de-açúcar (Ituverava e São Joaquim da Barra) (Chaebo et al., 2011; Luciano et al., 2019).

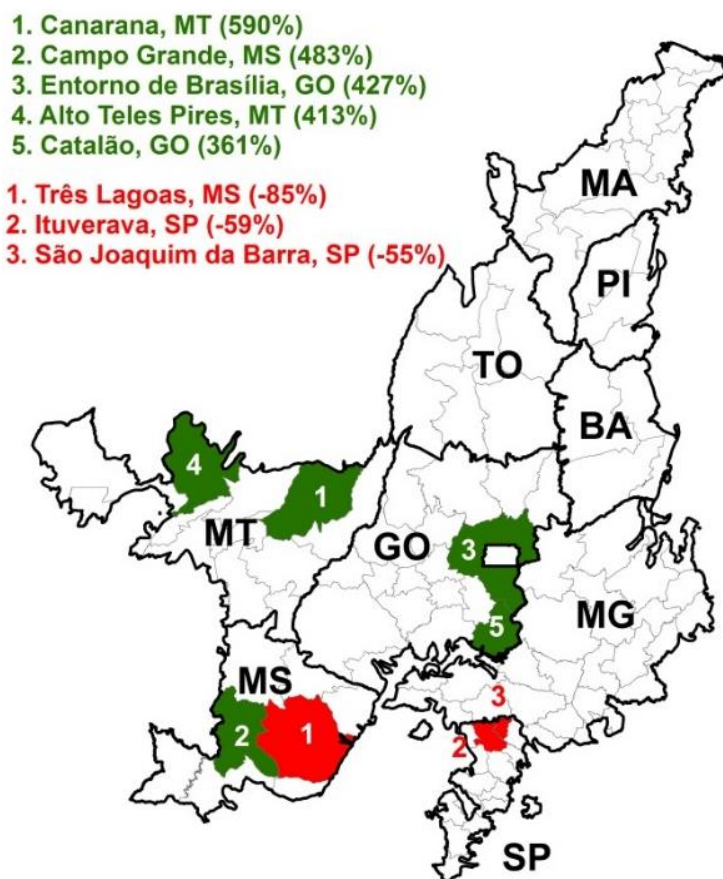


Figura 13. Taxas de crescimento relativo da produção de soja nas microrregiões do Cerrado entre 1994 a 2014. Fonte: IBGE (2017a).

A sistematização dos dados da PAM do IBGE no Cerrado mostrou que, em 1974, 49 microrregiões, de um total de 109 microrregiões, produziam soja no Cerrado (**Figura 14**). Essa participação aumentou para 84 em 1984; em 1994, eram 89 microrregiões produtoras, passando para 97 no ano de 2004 e permanecendo com a mesma quantidade em 2014. No decorrer de 40 anos (1974-2014), o número de microrregiões produtoras praticamente dobrou de 49 para 97. Apenas as microrregiões na região de transição com o bioma Caatinga nos estados de Minas Gerais e Bahia e as localizadas no norte de Piauí (ecorregião dos Cocais, segundo Sano et al., 2019b) não produziram soja em 2014.

Em 1974, nenhuma microrregião produzia mais de 1 milhão de toneladas. A partir de 1994, o quadro começou a se alterar com o surgimento de quatro microrregiões com produção superior a 1,5 milhão de toneladas nos estados de Goiás (Sudoeste de Goiás), Mato Grosso (Alto Teles Pires e Parecis) e Mato Grosso do Sul (Dourados). Esse cenário também foi observado por Freitas e Mendonça (2016) que evidenciaram o rápido crescimento do plantio de soja na rota centro-oeste do Brasil. Em 2004, duas microrregiões mato-grossenses ultrapassaram a marca de 3 milhões de toneladas (Alto Teles Pires e Parecis). Ainda em 2004, destaca-se o surgimento da microrregião de Barreiras no oeste do estado da Bahia, enquanto que, em 2014, o destaque deu-se para a microrregião Gerais de Balsas, no sul do estado do Maranhão. Diversos estudos na literatura estão apresentando e discutindo o oeste da Bahia, o estado de Tocantins e a região sul do Maranhão e do Piauí (MATOPIBA) como as duas últimas fronteiras agrícolas do Cerrado (e.g., Brannstrom, 2005; Menke et al., 2009; Bolfe et al., 2016; Pereira et al., 2018; Araújo et al., 2019).

Em síntese, o avanço da soja deu-se inicialmente das regiões Sul e Sudeste do Brasil para as regiões do Cerrado com as melhores condições de precipitação e fertilidade de solos (estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul). No início da década de 2000, o destaque é para a ocupação do oeste da Bahia, onde a fertilidade de solos e o regime de chuvas são menores em relação aos três estados mencionados anteriormente. O solo predominante do oeste da Bahia é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (baixa fertilidade), enquanto o do Cerrado matogrossense são o Neossolo Quartzarênico órticos (sem restrição ao manejo) e o Latossolo Vermelho distrófico (média fertilidade) (IBGE, 2007). A precipitação média anual no oeste da Bahia é em torno de 1.000 mm, enquanto a do Cerrado matogrossense é em torno de 1.700 mm (Sano et al., 2019b).

Os índices Gini variaram entre 0,77 (1984 e 2014) a 0,84 (1994), indicando heterogeneidade relativamente alta entre as microrregiões produtoras de soja. Essa heterogeneidade é resultado da presença de algumas microrregiões em número reduzido (regra geral, < 10 microrregiões, dependendo do ano) que apresentam produções de soja destacadamente superiores às demais microrregiões. Essas microrregiões estão identificadas nos diagramas de extremos e quartis (**Figura 12**) e nos mapas temáticos da **Figura 14**.

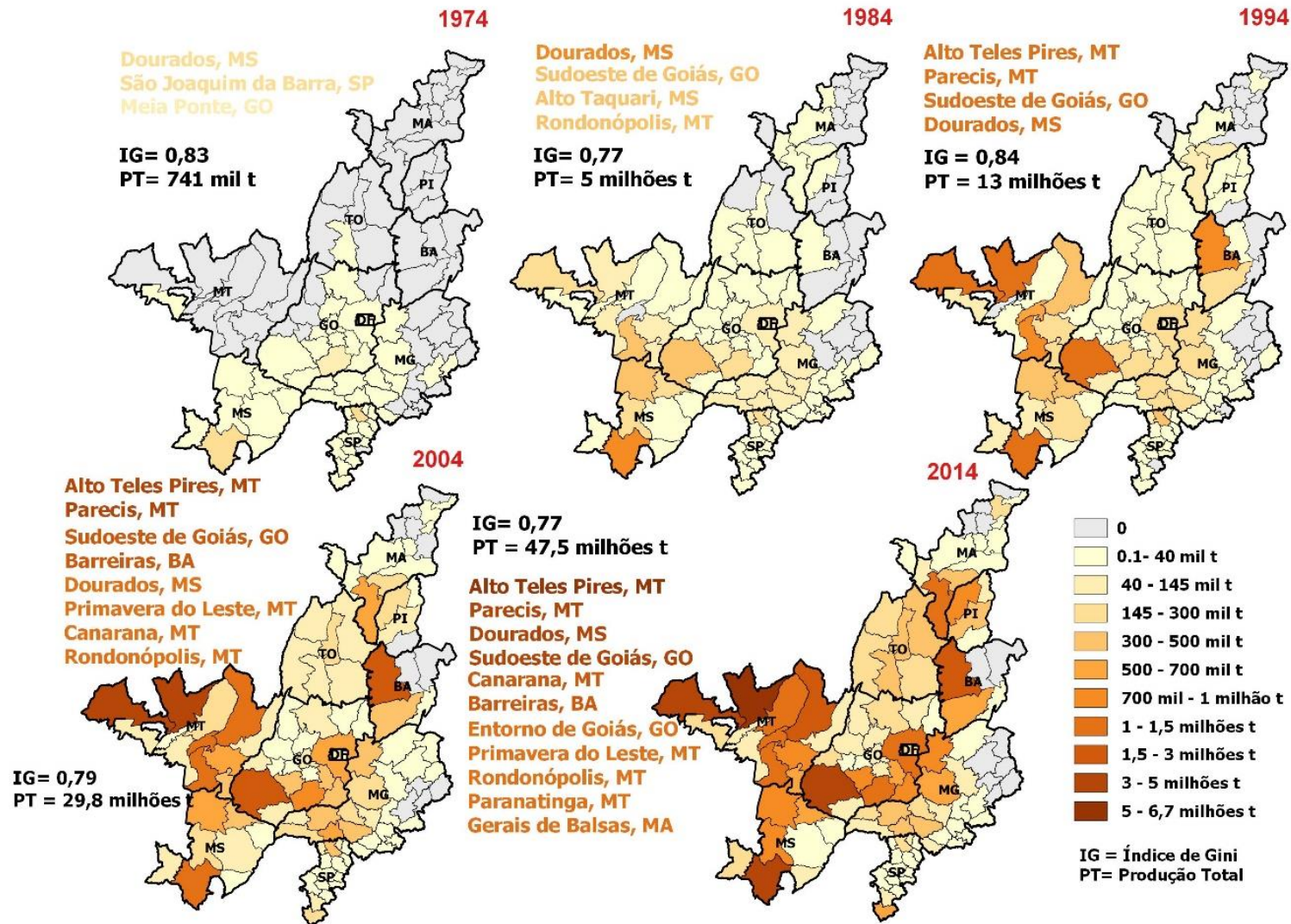


Figura 14. Dinâmica espaço-temporal da produção de soja nas microrregiões do Cerrado para os anos de 1974, 1984, 1994, 2004 e 2014. Fonte: IBGE (2017a).

3.4.3. Autocorrelação espacial

O cálculo do índice de Moran global apresentou valores positivos entre 0,069 e 0,234, indicando autocorrelação espacial direta e positiva, ou seja, tendência em formar agrupamentos entre as microrregiões (**Figura 15**). Os valores de Z-escore foram superiores a 1 para todo o período analisado e o p-valor $< 0,08$, rejeitando a hipótese nula de aleatoriedade dos dados e ausência de correlação entre as microrregiões.

A espacialização dos dados de produção da soja pelo índice de Moran local mostra as microrregiões rotuladas com a classe HH (**Figura 15**), isto é, microrregiões caracterizadas por apresentar elevada produção de soja e por estar próxima às outras microrregiões adjacentes também com alta produção. As quatro microrregiões dos estados de São Paulo (Jaboticabal, Batatais e Ituverava) e Minas Gerais (Uberaba) com a classe HH apareceram somente em 1974, deixando de ser importantes produtoras de soja a partir deste ano. O principal motivo foi a expansão da cana-de-açúcar em áreas de plantio de soja para produção de etanol que ocorreu no estado de São Paulo e adjacências (Rudorff et al., 2010).

Em 1984, houve um único agrupamento de cinco microrregiões na divisa entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (microrregiões de Campo Grande, Alto Taquari, Cassilândia, Alto Araguaia e Rondonópolis). Tal agrupamento nessa divisa estadual se manteve em 1994, porém, houve uma tendência de redução no tamanho desse agrupamento no decorrer dos anos. Em 1994, destaca-se ainda o surgimento de outro agrupamento em Mato Grosso, formado pelas microrregiões de Parecis e Alto Teles Pires, o qual permaneceu até o ano de 2014.

Em síntese, a partir de 1984, a porção oeste do Cerrado consolidou-se como uma das regiões mais importantes em termos de produção de soja nesse bioma. Esse resultado corrobora com o estudo de Ioris (2016) que, ao analisar as políticas econômicas do agronegócio no Mato Grosso, concluiu que a soja nesse estado teve expansão significativa após 1985, fruto principalmente das oportunidades de exportações decorrentes de políticas públicas que possibilitaram a criação de novas estradas e pavimentação de rodovias para escoamento da produção e recebimento dos insumos agrícolas, além dos créditos de financiamento para os produtores da região. Essa região está associada ainda com as melhores condições de precipitação do Cerrado (média anual variando entre 1.400 mm a 2.000 mm; Sano et al., 2019b), o que reduz as possibilidades de perdas de safra decorrente de veranicos (dias sucessivos sem chuva no

período chuvoso). Apesar da conhecida importância do oeste da Bahia e sul do Maranhão e Piauí em termos de produção de grãos no Cerrado, essas regiões não aparecem nos mapas de índice de Moran local, pois as suas áreas agrícolas não são tão extensas como as do Mato Grosso que possuem diversas regiões produtoras (38 Mha) em Alto Teles Pires, Parecis, Primavera do Leste e Rondonópolis, isto é, geralmente estão restritas dentro de uma única microrregião como Barreiras no oeste da Bahia (1Mha), Gerais de Balsas no sul do Maranhão (488 mil ha) e Alto Parnaíba Piauiense no Piauí (502 mil ha).

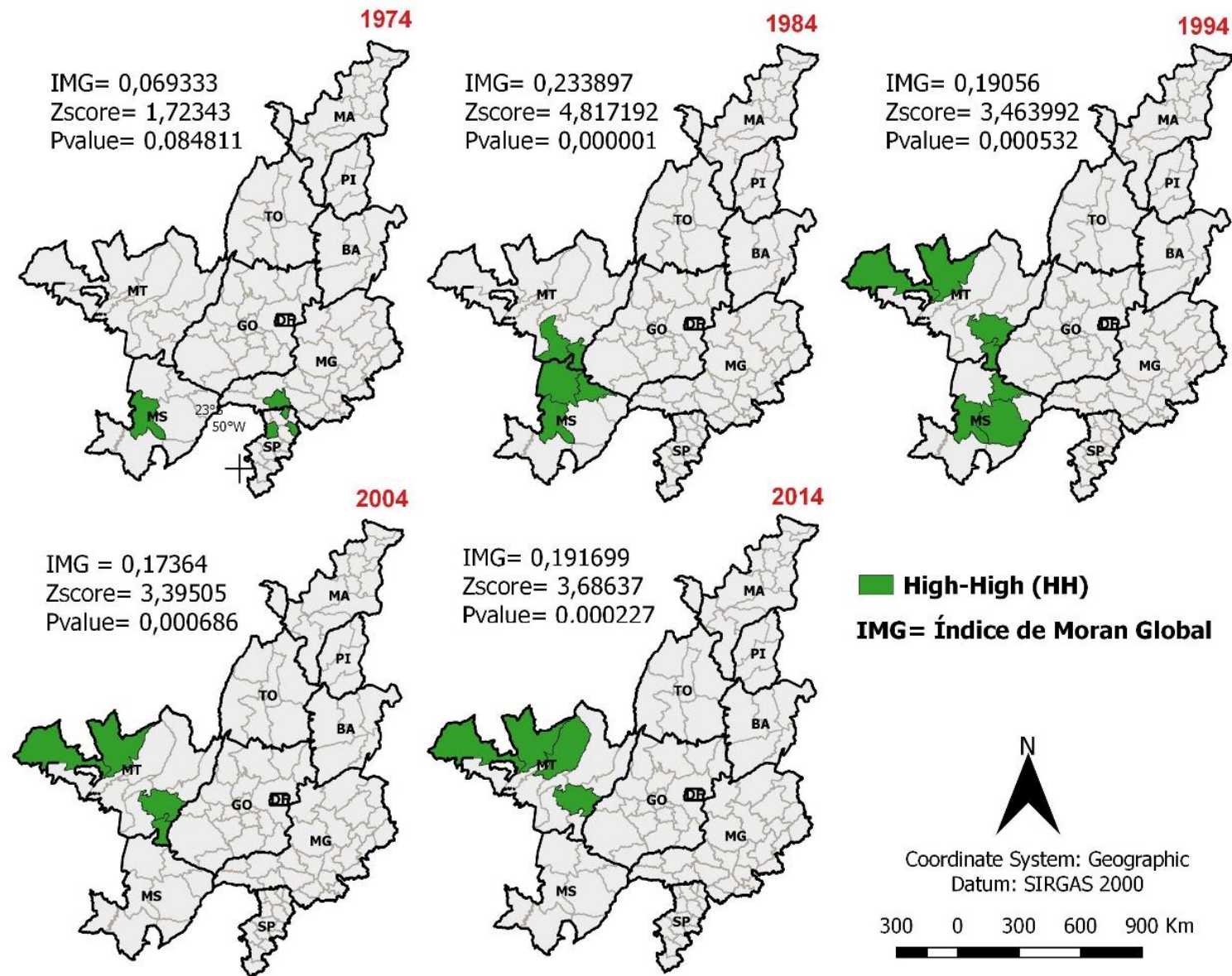


Figura 15. Dinâmica espaço-temporal da produção de soja no Cerrado para os anos de 1974, 1984, 1994, 2004 e 2014, apresentada em termos de índice de Moran local.

3.5. Considerações finais

Considerando a produção de soja nas 109 microrregiões do bioma Cerrado, os dados indicaram que a safra agrícola (ano-base: 2014) encontra-se acima de 47 milhões de toneladas, contribuindo aproximadamente com metade da produção nacional. A produção ultrapassou a marca dos 10 milhões de toneladas em meados da década de 1990, com o aporte vindo principalmente da porção oeste do Cerrado. A partir da década de 2000, houve destaque para três novas fronteiras agrícolas, oeste da Bahia e sul do Piauí e Maranhão.

O avanço da soja deu-se a partir da porção sul do bioma, em direção ao centro-oeste (estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul). Mais recentemente, a expansão do cultivo de soja está ocorrendo na porção norte do Cerrado, nas microrregiões inseridas no oeste da Bahia, sul do Piauí e do Maranhão. A análise dos índices de Moran global e local evidenciaram que esta dinâmica espaço-temporal possui elevada correlação espacial.

Há, na literatura científica, poucos estudos dedicados à dinâmica espaço-temporal da produtividade de soja ou de outras *commodities* agrícolas como o milho e o algodão no Cerrado. Recomenda-se a continuação desta pesquisa envolvendo outros parâmetros como a produtividade de soja e outras culturas agrícolas como o milho ou o algodão. Outra possibilidade de pesquisa é a análise social, econômica e ambiental das principais microrregiões produtoras de grãos no Cerrado (por exemplo, das microrregiões classificadas como G5), envolvendo dados do índice de desenvolvimento humano, produto interno bruto e passivo ambiental, por exemplo, ao longo das drenagens ou em termos de reserva legal.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL DAS PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS DE SOJA DO CERRADO E DAS POTENCIAIS ÁREAS DE EXPANSÃO AGRÍCOLA (*)

(*) Versão deste capítulo submetida à revista Pesquisa Agropecuária Brasileira

4.1. Questões de pesquisa

- Como são as características físicas, socioeconômicas e ambientais das principais microrregiões produtoras de soja no Cerrado em 2018?
- O cultivo de soja influencia o aspecto social, econômico e ambiental dessas microrregiões?
- Quais fatores físicos condicionam a expansão agrícola das microrregiões de maior destaque na cultura de soja do Cerrado?
- Qual é o potencial de expansão agrícola das microrregiões com maior produção de soja no Cerrado no ano de 2018?

4.2. Objetivo do estudo

O objetivo deste estudo foi realizar a caracterização física, socioeconômica e ambiental das microrregiões de maior produção de soja no Cerrado no ano de 2018 e identificar as áreas potenciais de expansão da agricultura no bioma.

4.3. Materiais e métodos

4.3.1. Base de dados e procedimentos de análise

Neste estudo, foram utilizados os seguintes dados tabulares e espaciais das microrregiões selecionadas (**Tabela 6**): dados mensais de precipitação disponibilizados pela plataforma *WorldClim2*; dados diários de precipitação obtidos pelas estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); dados de geomorfologia e solos na escala de 1:250.000 do IBGE; dados de uso e cobertura da terra na escala compatível de 1:100.000 do Projeto TerraClass Cerrado 2013, coordenado pelo MMA; dados do passivo ambiental ao longo das drenagens (ano de

2011), na escala de 1:25.000 da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS); dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) e do Produto Interno Bruto (PIB) do IBGE; e dados do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

Os dados mensais de precipitação pluviométrica da plataforma *WorldClim Version 2 - Global Climate Data* para os anos de 1970 a 2000 são disponibilizados com resolução espacial de 1 km a 340 km (Fick e Hijmans, 2017). As variáveis disponibilizadas correspondem a temperaturas mínima, média e máxima, precipitação, radiação solar, velocidade de vento e pressão de vapor d'água. Com relação aos dados diários de precipitação do INMET, foram utilizadas as séries históricas de cinco estações denominadas de Alto Parnaíba, MA (1977-2019), Barreiras, BA (1961-2019), Gleba Celeste, MT (1973-2019), Ponta Porã, MS (1961-2019) e Rio Verde, GO (1972-2019).

A caracterização das unidades geomorfológicas e pedológicas foram obtidas a partir da agregação de informações do Mapeamento de Recursos Naturais (MRN) realizado pela Diretoria de Geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no período de 1998 a 2017 na escala de 1:250.000.

O mapa de uso e cobertura da terra do Projeto TerraClass Cerrado 2013 foi produzido com base na segmentação e análise visual de 123 cenas do satélite Landsat-8 *Operational Land Imager* (OLI) de 2013 da estação seca (notadamente, de julho a setembro) (MMA, 2015). Diversas classes de uso da terra foram mapeadas nesse projeto em uma escala cartográfica equivalente a 1:100.000: pastagens cultivadas, culturas anuais, culturas perenes, silvicultura, área urbana, solo exposto, mosaico de ocupação, dentre outras. A partir desse estudo, foram feitos recortes para as microrregiões de Alto Teles Pires (MT), Dourados (MS), Sudoeste de Goiás (GO), Barreiras (BA), Gerais de Balsas (MA) e Alto Parnaíba Piauiense (PI), considerando-se apenas as classes de pastagens cultivadas e culturas anuais. Essas microrregiões foram selecionadas em função de sua importância em termos de produção de grãos para atender a demanda interna e de exportação de consumo de soja e pela sua ampla distribuição espacial no bioma Cerrado.

Tabela 6. Características dos principais dados espaciais e tabulares utilizados neste estudo.

Identificação	Especificação	Estrutura de Dados	Fonte	Análise
<i>WorldClim 2</i>	Precipitação mensal	Raster (resolução espacial de 1 km)	Fick e Hijmans (2017)	Física
Precipitação pluviométrica	Dados diários de precipitação registradas por meio de estações pluviométricas	Tabular	INMET (2020)	
Geomorfologia	Mapa geomorfológico do Brasil	Vetor (formato shape, escala de 1:250.000)	IBGE (2009)	
Solos	Mapa pedológico do Brasil	Vetor (formato shape, escala de 1:250.000)	IBGE (2007)	
Uso e cobertura da terra	Mapa de uso e cobertura da terra do Cerrado (Projeto TerraClass Cerrado 2013)	Vetor (formato shape, área mínima de mapeamento = 6,25 ha)	MMA (2015)	Intensificação agrícola
Passivo ambiental	Mapa de passivo ambiental em APPs ao longo das drenagens	Vetor (formato shape, escala de 1:25.000)	FBDS (2020)	Ambiental
Produção Agrícola Municipal (PAM)	Área colhida de soja (ha)	Tabular	IBGE (2018)	Socioeconômica
	Produção de soja (t)	Tabular	IBGE (2018)	
Produto Interno Bruto Municipal (PIB)	Dados municipais de PIB (período de 1920 a 2017)	Tabular	IBGE (2020) IPEA (2020)	
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)	Dados municipais de IDH (1991, 2000 e 2010)	Tabular	PNUD (2013)	

As áreas de passivo ambiental ao longo das drenagens, mapeadas pela FBDS (2020), foram obtidas com base na interpretação visual de imagens do satélite RapidEye

de 2011, em uma escala de 1:25.000. Essas imagens foram adquiridas pelo MMA para atender às necessidades do Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). O SICAR também disponibiliza dados para obtenção do passivo ambiental das APPs, por meio das áreas de Reserva Legal (RL) declaradas pelo proprietário do imóvel rural, no entanto, devido essas informações serem autodeclaratórias, o presente estudo considerou como passivo ambiental as áreas mapeadas pelas imagens de satélite. Entende-se como passivo ambiental as APPs ao longo das drenagens que apresentam algum tipo de uso da terra e que, por força de legislação ambiental, deveriam estar preservadas com vegetação nativa. Portanto, o proprietário possui obrigação de recuperá-las em benefício do meio ambiente. O mapeamento do referido passivo ambiental foi realizado de acordo com os Artigos 4º e 5º da Lei 12.651/2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.

Os dados tabulares utilizados neste estudo restringiram-se aos dados municipais de área colhida de soja em 2018 (unidade de medida em hectares) e de produção de soja (unidade de medida em toneladas) de 1974 a 2018 (IBGE, 2018), de PIB per capita (unidade monetária em reais) do período 2002 a 2017 (IBGE 2020a), do PIB real entre 1920 a 2010 (IPEA, 2020) e do IDHM referente aos anos de 1991, 2000 e 2010 (índice que varia de 0 a 1; < 0,499 = muito baixo; 0,500 a 0,599 = baixo; 0,600 a 0,699 = médio; 0,700 a 0,799 = alto; e > 0,800 a 1 = muito alto) (PNUD, 2013). O PIB configura a soma de todos os bens e serviços finais produzidos em cada município, sendo considerado os gastos dos governos, de empresas públicas e privadas, além dos investimentos, exportações e importações. O IDHM é calculado considerando-se a taxa de alfabetização, o tempo de escolaridade, acesso à medicina e saúde, PIB per capita e taxa de desemprego.

Esses dados descritos acima foram utilizados para caracterizar seis das principais microrregiões produtoras de soja no Cerrado em termos físicos (precipitação, geomorfologia e solos), ambientais (grau de preservação das áreas de proteção permanente ao longo das drenagens), econômicos (PIB per capita e PIB real) e sociais (IDHM). Uma análise do potencial de intensificação da produção de soja por meio da integração lavoura-pastagem (ILP) foi realizada com os dados espaciais de culturas agrícolas e de pastagens cultivadas do Projeto TerraClass Cerrado 2013, retirando-se da análise, as áreas de pastagens cultivadas que se localizaram dentro das unidades de conservação ou de terras indígenas (arquivos em formato vetorial) obtidos dos sítios do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2020) e da

Fundação Nacional do Índio (Funai, 2020). Foi conduzida ainda uma análise da correlação existente entre a produção de soja (t) e o PIB real e entre a produção de soja (t) e o IDHM, considerando-se a escala de microrregião. Para isso, foi feita a normalização destes três tipos de dados pelo método dos valores mínimo e máximo. O grau de correlação foi analisado por meio do coeficiente de determinação (R^2).

4.4. Resultados e discussão

4.4.1. Caracterização física das seis principais microrregiões produtoras de soja

Os dados medidos de precipitação média mensal pelas estações pluviométricas do INMET (**Figura 16**) indicam que as precipitações médias anuais das microrregiões de Gerais de Balsas, MA e Barreiras, BA, são bastante similares (1.205 mm e 1.025 mm, respectivamente). O mesmo ocorre nas microrregiões de Dourados, MS e Sudoeste de Goiás, GO. Regra geral, a precipitação média mensal nos meses de junho, julho e agosto se aproxima de zero em todas as microrregiões. A exceção fica por conta da microrregião de Dourados, MS, cujo regime de chuvas é melhor distribuído ao longo dos meses do ano. Essa microrregião, por causa da sua localização na região centro-sul de Mato Grosso do Sul, sofre influência dos climas controlados pelas massas de ar tropicais e polares (Zavatini, 1992).

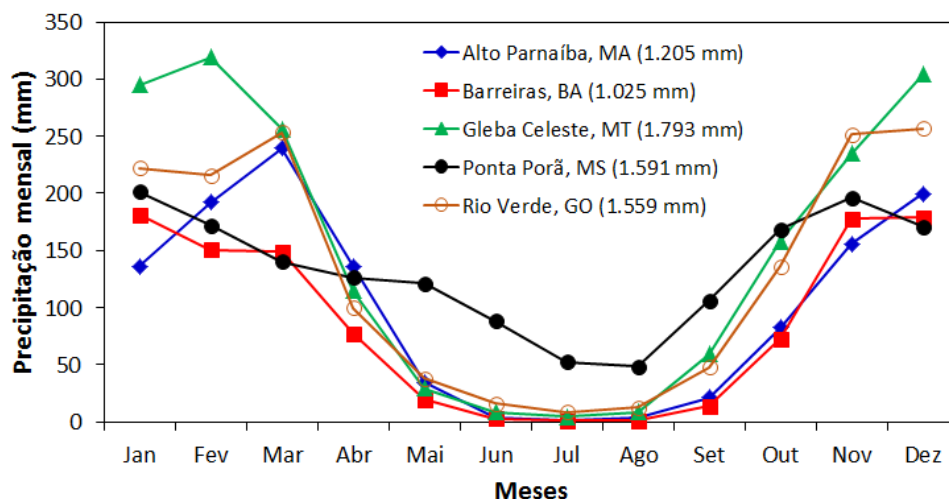


Figura 16. Precipitações médias mensais obtidas das cinco estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas nos estados do Maranhão (estação Alto Parnaíba), Bahia (estação Barreiras), Mato Grosso (estação Gleba Celeste) e Mato Grosso do Sul (Ponta Porã). Fonte: INMET (2020).

Na **Figura 17**, são mostradas as precipitações médias anuais das seis microrregiões mais produtivas de soja do Cerrado. Todas as microrregiões apresentam médias anuais superiores a 1.000 mm. Este valor é considerado por grande parte dos agricultores do Cerrado como um limiar de segurança para o plantio de culturas anuais de sequeiro. Em outras palavras, se uma determinada região possui precipitação média anual inferior a 1.000 mm, o risco de perda da safra por estresse hídrico é considerado alto pelos produtores, embora se saiba que esse limiar depende de outros fatores como a capacidade de retenção de água dos solos, coeficiente cultural das variedades da cultura agrícola e probabilidade de ocorrência de veranicos de 10 ou 15 dias na época de floração e enchimento de grãos. O desenvolvimento de novas variedades mais adaptadas às condições climáticas mais severas pode ainda reduzir esse limiar atual. Em termos espaciais, somente a microrregião de Barreiras, BA apresenta parte da sua área com precipitação média anual inferior a 1.000 mm (aproximadamente 10% da sua área na porção leste).

Percebe-se ainda que as três microrregiões localizadas na zona de transição com o bioma Caatinga, isto é, microrregiões de Barreiras, BA, Alto Parnaíba Piauiense, PI e Gerais de Balsas, MA, possuem médias anuais inferiores a 1.300 mm, enquanto que as médias anuais das outras microrregiões são superiores a 1.500 mm. Essas três microrregiões são, portanto, mais suscetíveis a riscos climáticos. A microrregião de Alto Teles Pires, MT é a que possui a maior precipitação média anual (1.901 mm), devido à sua proximidade com a floresta tropical da Amazônia.

Na **Figura 18**, são mostradas as características geomorfológicas das seis microrregiões selecionadas. Nas microrregiões de Alto Parnaíba Piauiense, PI e Barreiras, BA, predominam as chapadas, onde a agricultura anual intensiva e altamente mecanizada é praticada (67% e 80% das áreas totais das microrregiões, respectivamente). As chapadas (e tabuleiros) correspondem à forma de relevo de topo plano, moldadas em rochas sedimentares e, em geral, limitadas por escarpas (IBGE, 2009). A principal diferença entre chapadas e tabuleiros é que as chapadas ocorrem em altitudes mais elevadas em relação aos tabuleiros. As microrregiões do Alto Teles Pires, MT e de Dourados se destacam pelo predomínio de planaltos (91% e 98%, respectivamente). Os planaltos, ainda de acordo com IBGE (2009), são caracterizados por relevos planos ou dissecados, de altitudes elevadas, limitados, pelo menos em um lado, por superfícies mais baixas, onde os processos de erosão superam os de sedimentação. Na microrregião de Gerais de Balsas, MA, destacam-se dois

compartimentos geomorfológicos, as chapadas (32%) e as depressões (46%). As Depressões correspondem a relevos planos ou ondulados, estão localizadas em níveis topográficos inferiores aos das regiões vizinhas e ocorrem em diferentes formações litológicas. A microrregião do Sudoeste de Goiás, GO, é a microrregião mais heterogênea do ponto de vista de compartimentação geomorfológica, com ocorrência de chapadas, depressões, patamares e planaltos.

Quatro microrregiões encontram-se localizadas em Latossolos Vermelhos (**Figura 19**): Dourados, MS (92%), Alto Teles Pires, MT (86% da área da microrregião), Sudoeste de Goiás, GO (73%) e Barreiras, BA (58%). Esse tipo de solo é caracterizado pela coloração vermelho-escura, elevada profundidade, baixa fertilidade natural (distróficos) e são característicos das chapadas da região central do país (IBGE, 2007). A microrregião de Alto Parnaíba Piauiense, PI destaca-se pelo predomínio dos Latossolos Amarelos (71%) que correspondem a solos profundos, de coloração amarelada, boa drenagem e baixa fertilidade natural e com predomínio de textura argilosa e muito argilosa. Na microrregião Gerais de Balsas, MA, há predomínio de três tipos principais de solos, o Latossolo Amarelo (28%), o Neossolo Litólico (26%) e o Neossolo Quartzarênico (21%). Os Neossolos são solos pouco desenvolvidos, rasos e com horizonte A diretamente sobreposto à rocha-mãe (Neossolos Litólicos) ou com predomínio de areias quartzosas (Neossolos Quartzarênicos).

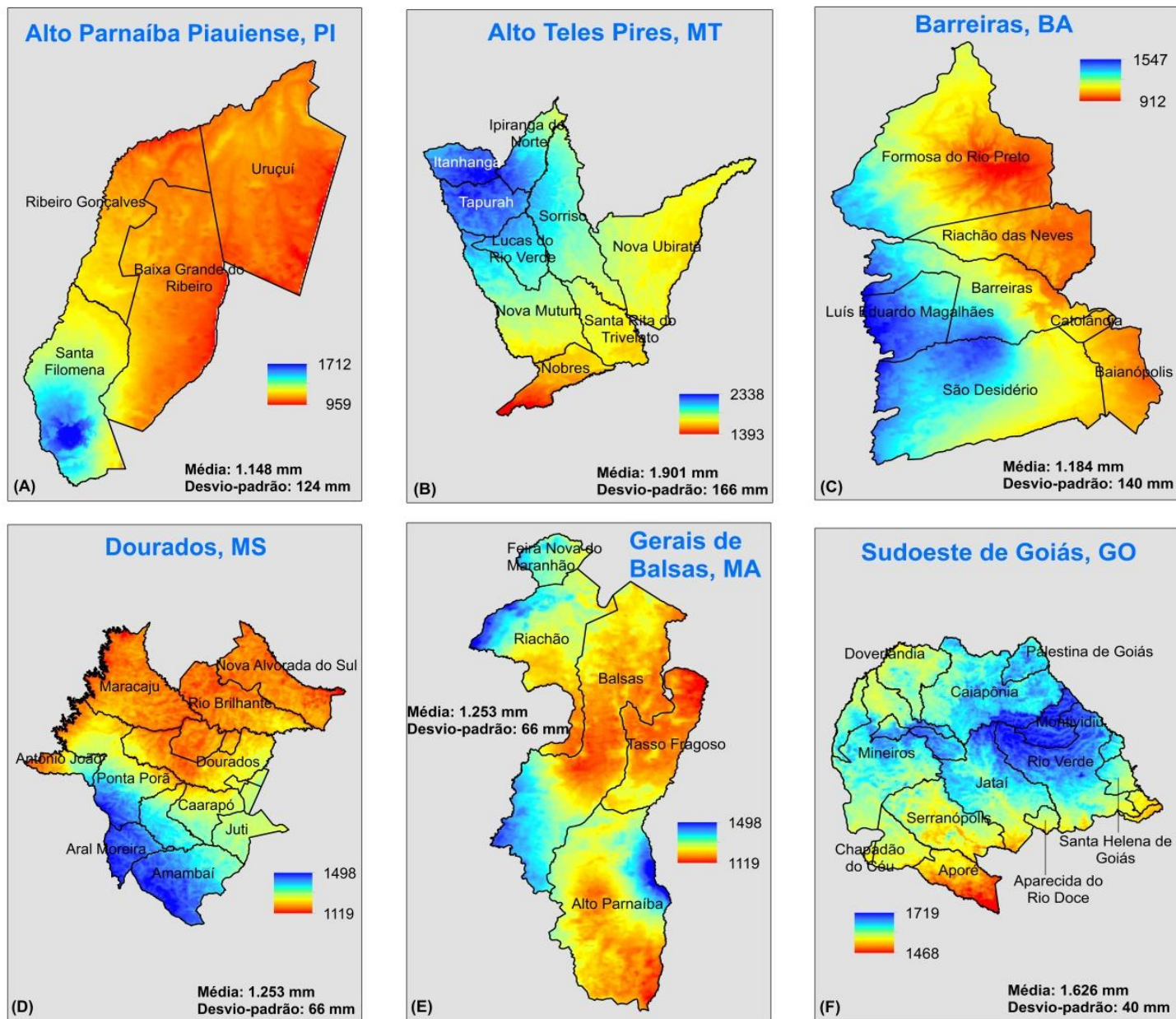


Figura 17. Precipitação média anual das seis microrregiões mais produtivas de soja no Cerrado, localizadas nos estados do Piauí (A), Mato Grosso (B), Bahia (C), Mato Grosso do Sul (D), Maranhão (E) e Goiás (F). Fonte: Fick e Hijmans (2017).

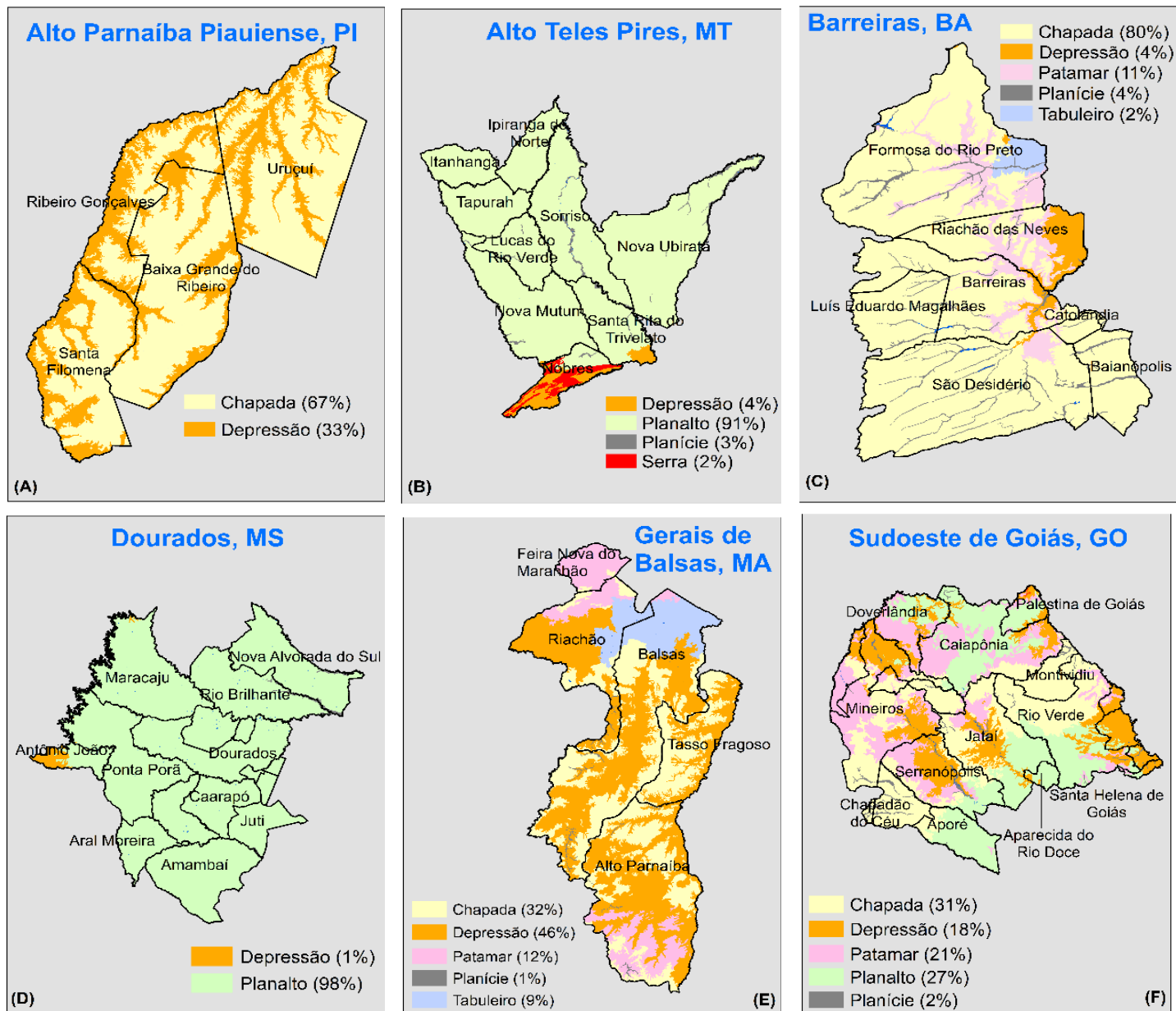


Figura 18. Unidades geomorfológicas das seis microrregiões mais produtivas de soja no Cerrado, localizadas nos estados do Piauí (A), Mato Grosso (B), Bahia (C), Mato Grosso do Sul (D), Maranhão (E) e Goiás (F). Fonte: IBGE (2009).

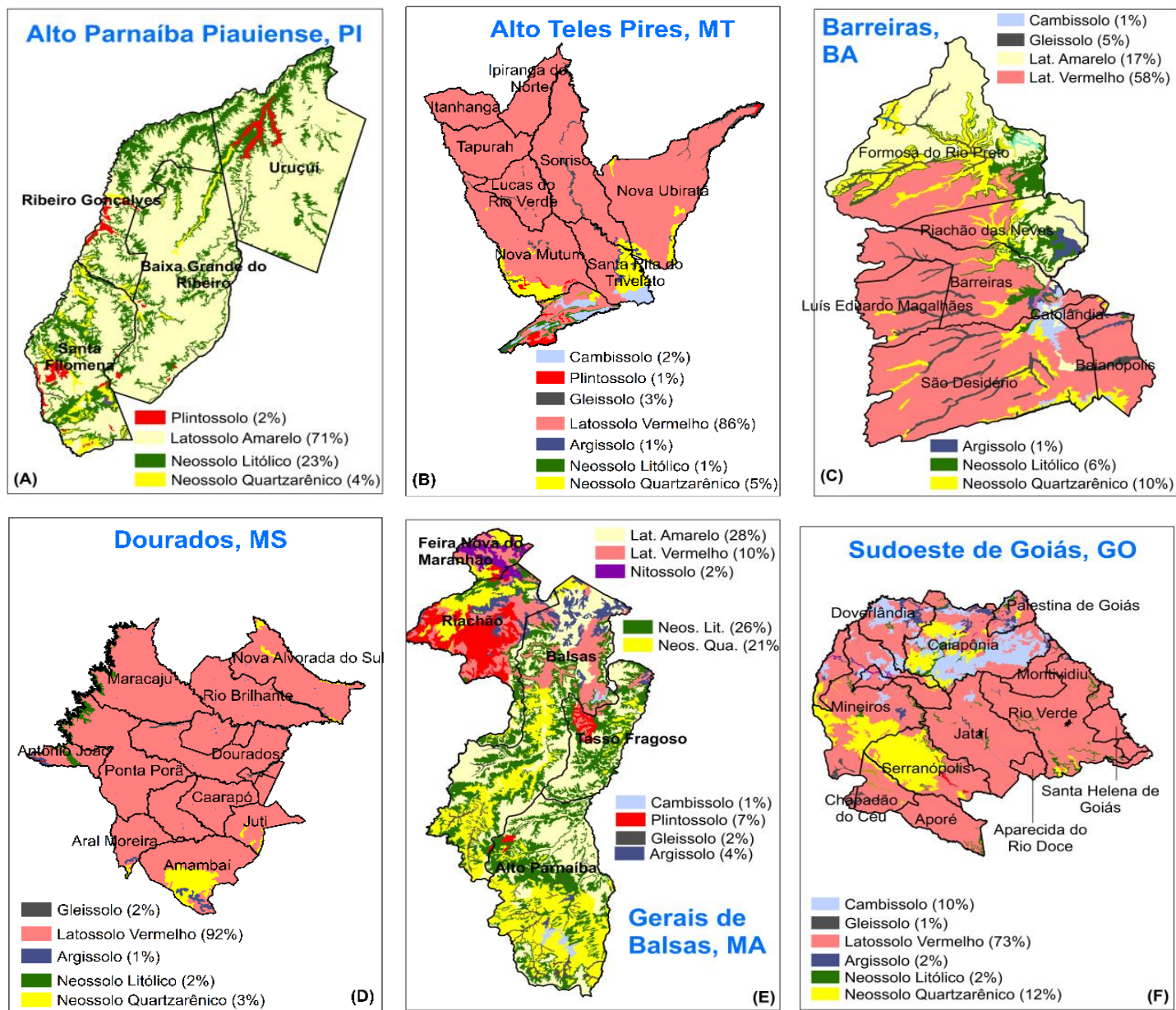


Figura 19. Unidades pedológicas das seis microrregiões mais produtivas de soja no Cerrado, localizadas nos estados do Piauí (A), Mato Grosso (B), Bahia (C), Mato Grosso do Sul (D), Maranhão (E) e Goiás (F). Fonte: IBGE (2007).

Em resumo, pode-se afirmar que as seis principais microrregiões produtoras de soja no Cerrado possuem características físicas similares, conforme apresentado na **Tabela 7**, em termos de precipitação média anual (superior a 1.150 mm), compartimentação geomorfológica (chapadas ou planaltos) e tipos de solos (Latossolos). Praticamente toda a extensão da microrregião de Dourados possui relevo apropriado para mecanização agrícola. Em contrapartida, quase a metade da área pertencente à microrregião Gerais de Balsas, MA, é inapta para agricultura mecanizada por causa do relevo acidentado, na forma de depressão. A porção norte dessa última microrregião também é inapropriada para agricultura extensiva por causa da presença de uma mancha extensa de Plintossolos. A porção leste da microrregião de Barreiras, BA, apresenta risco relativamente alto de perda de produção de grãos por causa dos baixos níveis de precipitação.

Tabela 7. Características físicas das seis principais microrregiões produtoras de soja no Cerrado.

Microrregião	Precipitação Média Anual Aproximada (mm)	Compartimentação Geomorfológica Predominante	Classe de Solo Predominante
Alto Parnaíba Piauiense, PI	1.150	Chapada	Latossolo Amarelo
Alto Teles Pires, MT	1.900	Planalto	Latossolo Vermelho
Barreiras, BA	1.200	Chapada	Latossolo Vermelho
Dourados, MS	1.250	Planalto	Latossolo Vermelho
Gerais de Balsas, MA	1.250	Chapada e Depressão	Latossolo Amarelo e Neossolos
Sudoeste de Goiás, GO	1.650	Chapada e Planalto	Latossolo Vermelho

4.4.2. Uso da terra nas seis principais microrregiões produtoras de soja

Dentre os municípios que fazem parte das seis microrregiões selecionadas, Sorriso destaca-se pela quantidade de área colhida de soja em 2018 (**Figura 20**): 600 mil hectares. Dentre os 11 municípios que colheram mais de 200 mil hectares dessas microrregiões, cinco são de Alto Teles Pires, MT: Sorriso, Nova Mutum, Nova Ubiratã, Ipiranga do Norte e Lucas do Rio Verde. Formosa do Rio Preto e São Desidério também se destacam pela extensão de área colhida com soja: 411 mil hectares e 392 mil hectares, respectivamente. De fato, esses dois últimos municípios são os principais produtores de grãos na fronteira agrícola do oeste da Bahia (Sano et al., 2011).

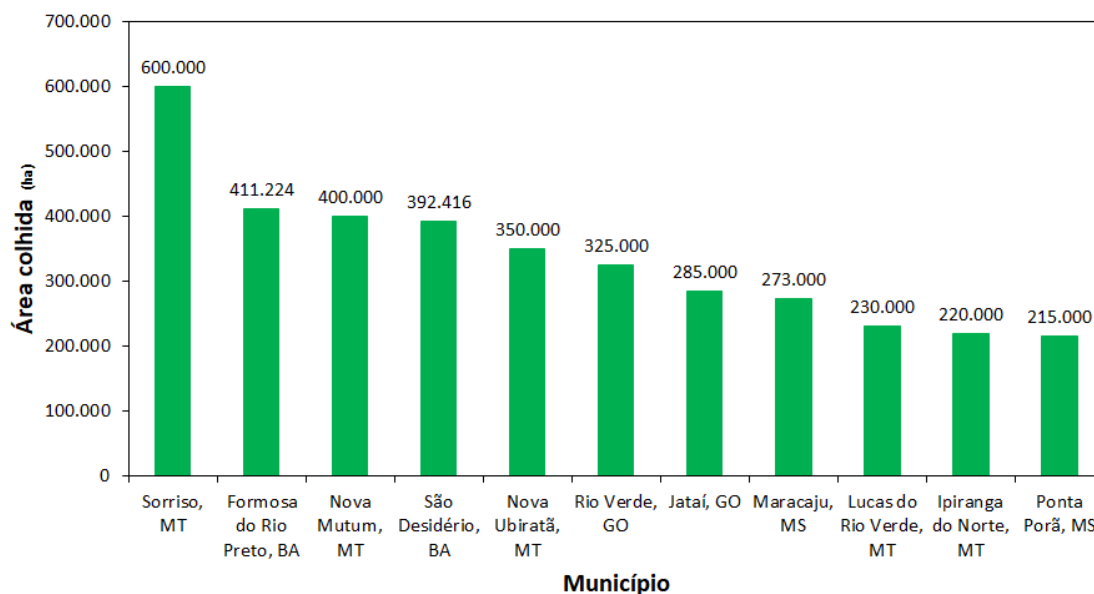


Figura 20. Lista dos 11 municípios com área colhida de soja superior a 200 mil hectares em 2018. Fonte: IBGE (2018).

Segundo os dados produzidos pelo projeto de mapeamento do uso e cobertura da terra do Cerrado denominado TerraClass Cerrado 2013 e coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015), existiam aproximadamente 6,4 milhões de hectares plantadas com culturas anuais nas seis microrregiões selecionadas. Praticamente todo o plantio foi conduzido em áreas de chapadas ou planaltos (**Tabela 8**). Nesses dois compartimentos geomorfológicos, foram mapeados 2,07 milhões de hectares de pastagens cultivadas (**Tabela 9**) que, a princípio, podem ser utilizados para intensificação da agricultura como uma alternativa de manejo do solo para preservação da biodiversidade do Cerrado (Spera, 2017). Um dos manejos mais promissores é o sistema de consórcio entre soja ou milho e braquiária. O plantio de soja ou milho em áreas de pastagem cultivada com braquiária melhora o conteúdo de palhada seca no terreno e aumenta a macroporosidade e porosidade total do solo (Chioderoli et al., 2012). Desses 2,07 milhões de hectares de pastagens cultivadas, há 10 mil hectares de pastagens cultivadas que se encontram no interior de unidades de conservação ou terras indígenas que, a princípio, não podem ser utilizados para intensificação agrícola. A ausência de pastagens cultivadas no oeste da Bahia é um indicativo de que a ocupação agrícola nessa região pode ter sido feita a partir da remoção direta da cobertura vegetal nativa de Cerrado.

Tabela 8. Área ocupada por culturas anuais nas seis microrregiões do Cerrado com maior produção de soja, discriminados por compartimentação geomorfológica (dados baseados no Projeto TerraClass Cerrado 2013 do Ministério do Meio Ambiente). Total de área com culturas anuais: 6,4 milhões de hectares.

Microrregião	Compartimentação geomorfológica						
	Chapada	Planalto	Planície	Serra	Depressão	Patamar	Tabuleiro
Alto Parnaíba Piauiense, PI	505.402	0	0	0	1.929	0	0
Alto Teles Pires, MT	0	1.786.216	1.794	15.117	14.359	0	0
Barreiras, BA	1.671.735	0	1.800	0	1.109	1.479	237
Dourados, MS	0	635.535	202	0	1.796	0	0
Gerais de Balsas, MA	379.848	0	1.100	0	50.791	425	58.917
Sudoeste de Goiás, GO	905.683	195.652	10.245	0	136.640	49.649	0
SUBTOTAL	3.462.668	2.617.403	15.141	15.117	206.624	51.553	59.154

Tabela 9. Área ocupada por pastagens cultivadas nas seis microrregiões do Cerrado com maior produção de soja, localizadas nos compartimentos geomorfológicos de chapada e planalto (dados baseados no Projeto TerraClass Cerrado 2013 do Ministério do Meio Ambiente).

Microrregião	Área (ha)
Alto Parnaíba Piauiense, PI	107.324
Alto Teles Pires, MT	293.126
Barreiras, BA	0
Dourados, MS	563.856
Gerais de Balsas, MA	30.367
Sudoeste de Goiás, GO	1.070.656
TOTAL	2.065.329

O valor médio do passivo ambiental ao longo das drenagens nas seis microrregiões foi de 23% (**Tabela 10**), estando de acordo com o passivo ambiental encontrado por Sano et al. (2019b) para todo o bioma Cerrado de 24%. As microrregiões de Alto Teles Pires, MT e Alto Parnaíba Piauiense, PI, apresentaram os menores índices de passivo ambiental (8% para as duas microrregiões). Por outro lado, as microrregiões de Dourados, MS e Sudoeste de Goiás, GO, apresentaram as maiores porcentagens de passivo ambiental (46% e 37%, respectivamente). Essas microrregiões atingiram praticamente o dobro da média do Cerrado (24%), indicando que a

colonização agrícola antiga por parte dos proprietários rurais advindos do Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina, desde a década de 1970 (Missio e Rivas, 2019), no intuito de impulsionar o agronegócio da região, resultou em um custo ambiental relativamente alto se comparado as demais microrregiões que tiveram seu processo de ocupação agrícola recente.

Tabela 10. Valores médios de passivo ambiental ao longo das drenagens nas seis microrregiões do Cerrado com maior produção de soja.

Microrregião	Porcentagem (%)
Alto Teles Pires, MT	8
Alto Parnaíba Piauiense, PI	8
Gerais de Balsas, MA	16
Barreiras, BA	23
Sudoeste de Goiás, GO	37
Dourados, MS	46
Média	23

Em resumo, as seis principais microrregiões produtoras de soja no Cerrado apresentaram aproximadamente 7 milhões de hectares de área colhida de soja, o que corresponde a aproximadamente 20% de toda a área colhida com soja no Brasil. Existe ainda um potencial de intensificação da produção de soja (e outros grãos) no Cerrado de aproximadamente 2 milhões de hectares, que correspondem às áreas de pastagens plantadas em terrenos favoráveis à mecanização intensiva. Considerando-se que o país está cada vez mais engajado na política de produção agrícola com sustentabilidade ambiental, uma das ações necessárias é a recuperação do passivo ambiental ao longo das drenagens que está em torno de 23%, variando de 8% a 46%, dependendo da microrregião. De acordo com Schleifer (2016), essas práticas alternativas visando a agricultura sustentável advém da demanda política-econômica global, com ativismo ambiental e pressão regulatória externa por alimentos que sejam produzidos, processados e comercializados de forma responsável.

O menor percentual de passivo ambiental encontrado nas microrregiões de Alto Teles Pires e de Alto Parnaíba Piauiense possuem contextos históricos de práticas agrícolas distintos no desenvolvimento de uma agricultura ambientalmente sustentável. Em Alto Teles Pires, a agricultura desenvolve-se em sistemas tecnificados de plantio direto (SPD) e de Integração Lavoura Pecuária (ILP), que consistem no cultivo agrícola consorciado com braquiária para pastejo na entressafra e acúmulo de palhada para o

SPD (Machado et. al., 2011; Conte et al., 2019). Essa forma de manejo, além de maximizar a produção agrícola, viabiliza a recuperação do solo e retorno da qualidade ambiental das pastagens, reduzindo os impactos de desmatamento, alterações nos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos dos ecossistemas naturais (Andrade et al., 2016; Macedo e Araújo, 2012).

Esse processo de intensificação agrícola é decorrente do avanço tecnológico fomentado pelas políticas públicas de sustentabilidade agrícola, com práticas que conservam os recursos naturais e elevam a renda do produtor rural (Bolfe et al., 2018). Essa perspectiva é corroborada por Hampf et al. (2020) que realizaram modelagens de projeções futuras para analisar o impacto das mudanças climáticas e do desenvolvimento tecnológico em diferentes sistemas de produção agrícola no Mato Grosso e Pará, e verificaram que o aumento das tendências tecnológicas, principalmente nas áreas de melhoramento genético e manejo de culturas, possibilitarão rendimentos da soja em até 40% no ano de 2040 com baixo potencial para exploração agrícola das atuais áreas de florestas.

O Plano Agricultura de Baixo Carbono (ABC) se insere nesse contexto, com investimentos superiores a 17 milhões de reais, expandiu as tecnologias de baixa emissão de carbono em 64 milhões de hectares no Brasil, entre 2010 e 2018 (MAPA, 2020). O aumento das áreas agrícolas sob plantio direto para 32 milhões de hectares em 2018 é um reflexo desses investimentos (FEBRAPDP, 2020), que em conjunto com a ILP permite o crescimento da produtividade e diversificação da oferta de alimentos, com alta qualidade e com valor agregado tanto para o consumo interno, quanto para a exportação, contribuindo significativamente para a segurança alimentar nacional e mundial (Kluthcouski e Cordeiro, 2018).

Na microrregião de Alto Parnaíba Piauiense, o menor passivo ambiental é devido essa região estar inserida em MATOPIBA, que é considerada a mais recente fronteira agrícola do país, com delimitação baseada em critérios ambientais, agrários e socioeconômicos (Miranda et al., 2014). Essa demarcação teve como objetivo analisar e colocar em prática as melhores alternativas sustentáveis apoiadas nas tecnologias desenvolvidas para ampliação do manejo agrícola, sendo colocado em prática o Sistema Integração Lavoura Pecuária (ILP). No entanto, ainda que os resultados da variável ambiental tenham sido satisfatórios para a conservação dos recursos naturais em Alto Parnaíba Piauiense, observa-se que o avanço do agronegócio nas áreas de MATOPIBA tem demonstrado que a forma de ocupação agrícola é fomentada, principalmente, pelo

menor preço das terras em conjunto com as condições de clima e solo, e ao mesmo tempo evidenciando o progresso do desmatamento em direção ao norte do Cerrado (Lumbreras et al., 2017; Barbirato e Souza, 2018).

Embora, conforme apontado por Barros et al. (2016), seja fundamental a aplicação e promoção das técnicas de intensificação ecológica na agricultura, Picoli et al. (2020), ao verificarem os impactos das políticas públicas e do setor privado na expansão da soja em Mato Grosso, constataram que o cultivo da soja em pastagens tem causado desmatamento no bioma Amazônia e no Cerrado, onde a substituição dessas áreas tem ocasionado a expansão da pastagem para outros lugares. Esse cenário é descrito por Rivero et al. (2009) que analisaram a evolução das causas imediatas do desmatamento da Amazônia e identificaram que a pecuária está fortemente correlacionada com a conversão das florestas nativas para pastagem. No Cerrado, Ferreira et al. (2009) avaliaram a expansão agrícola e o desmatamento no estado de Goiás, e verificaram a abertura de novas áreas de pastagens associada com a perda da cobertura vegetal que contribuiu para os maiores passivos ambientais encontrados na microrregião do Sudoeste de Goiás. Dessa forma, no intuito de atender a demanda por sistemas agrícolas mais eficientes, que proporcionam maior produção de alimentos, com menor quantidade de água e sem desmatamento de novas áreas Soterroni et al. (2019) propõem que a moratória da soja seja expandida para o bioma Cerrado, indicado que a implementação da medida em 2020 impediria a conversão de 3,6 milhões de hectares de vegetação nativa em agricultura até 2050, principalmente na região de MATOPIBA que corresponde a 80% dessas áreas.

Tratando-se da eficiência da agropecuária na redução do desmatamento da vegetação nativa e dos impactos ambientais, constata-se que a agricultura obtém resultados superiores quando comparada a pecuária, com produtividade 20 vezes maior, em uma área 2,6 menor e emissão de 2 toneladas de gases de efeito estufa (GEE) por tonelada produzida, em contraponto a 283 toneladas de GEE emitida pela pecuária (SPAROVEK et al., 2018). No entanto, a agricultura é a atividade econômica que mais utiliza água no mundo, e atualmente o grande desafio é atender o crescimento da demanda por alimento e ao mesmo tempo solucionar o problema da escassez hídrica, ou seja, diminuir o consumo de água na agricultura sem diminuir a produtividade (Spera et al., 2016). A irrigação por pivô central, é a etapa que mais demanda recurso hídrico no manejo agrícola e diante dessa situação, a Agência Nacional de Água (ANA, 2019) atualizou o diagnóstico da agricultura irrigada por pivô central no Brasil e identificou

que em 2017 houve um aumento de área 47 vezes maior que em 1985, com levantamento de 23.181 equipamentos de pivô central ocupando 1, 476 milhão de hectares. O bioma Cerrado concentra 78% dos pontos de pivô central do país, sendo esse cenário decorrente da expansão da agricultura em áreas de maior déficit hídrico e também pela estrutura fundiária dos estabelecimentos agrícolas de grande e médio porte que demandam adequação dos sistemas de irrigação para extensas áreas de relevo plano e solos que necessitam de manejo para o cultivo de grãos (ANA, 2019).

Dessa forma, se observa que as condições hídricas em conjunto com o clima, solo e geomorfologia são fatores que potencializam ou limitam o desenvolvimento agrícola do Cerrado, demonstrando a necessidade de considerar o planejamento estratégico agrícola a partir da perspectiva da conservação ecológica e do aumento da produção de diferentes cultivos agrícolas (e.g. milho, algodão, cana-de-açúcar e café). Nesse sentido, Carneiro Filho e Costa (2016), por meio dos resultados obtidos de Rudorff e Risso (2015), indicaram que para atender a demanda da agricultura sustentável no bioma Cerrado, as terras com maior aptidão para intensificação agrícola consistem nas áreas de pastagens, que correspondem a aproximadamente 25 milhões de hectares disponíveis, sendo necessária a gestão eficiente dessas áreas com a implementação de práticas agrícolas que visam a maior produção de alimentos e redução dos impactos ambientais, com manejo integrado a nível de ecossistema e não somente de propriedade local.

4.4.3 Produto Interno Bruto e Índice de Desenvolvimento Humano

Na **Figura 21**, são mostradas as evoluções do PIB per capita entre 2002 e 2017 dos municípios que compõem a seis microrregiões selecionadas neste estudo. As microrregiões de Alto Parnaíba Piauiense, PI e Dourados, MT apresentaram os valores de PIB per capita mais baixos, enquanto que as de Alto Teles Pires, MT e Sudoeste de Goiás, GO apresentaram os valores mais altos.

Algumas microrregiões apresentaram um, dois, ou três municípios que se sobressaíram aos demais municípios por causa dos seus PIB per capita relativamente mais elevados. Esses foram os casos de Santa Rita do Trivelato, MT (microrregião de Alto Teles Pires, MT), São Desidério, Luís Eduardo Magalhães e Formosa do Rio Preto (microrregião de Barreiras, BA), Tasso Fragoso (microrregião de Gerais de Balsas, MA) e Chapadão do Céu e Perolândia (microrregião do Sudoeste de Goiás, GO).

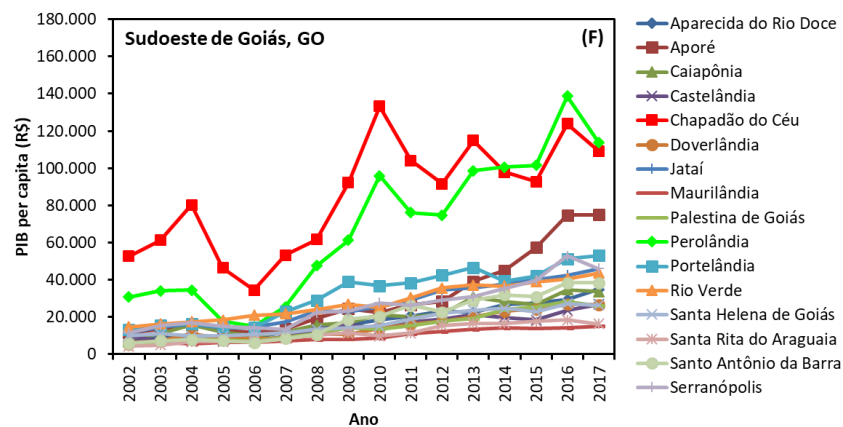
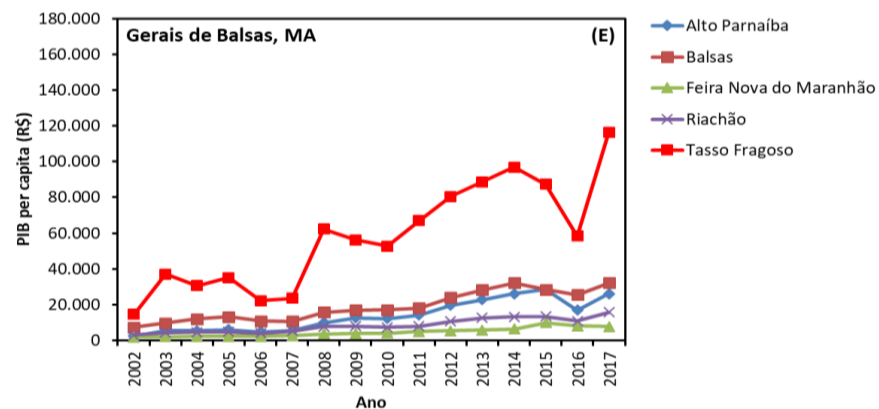
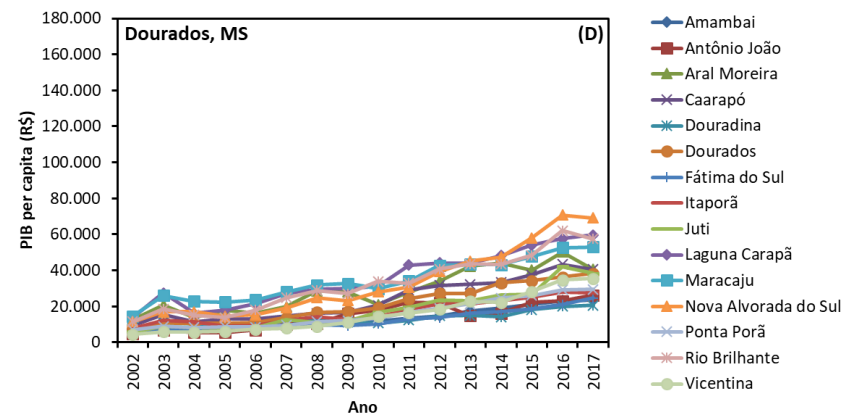
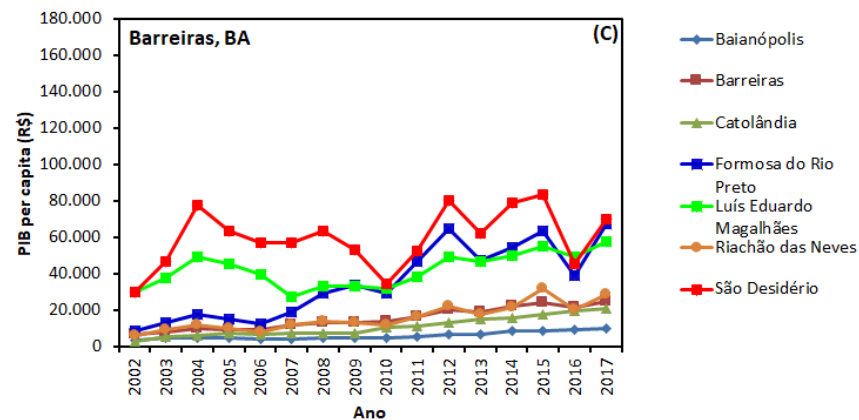
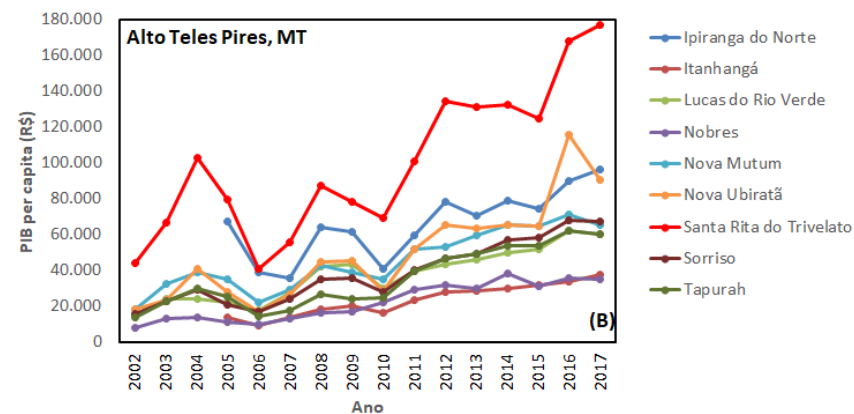
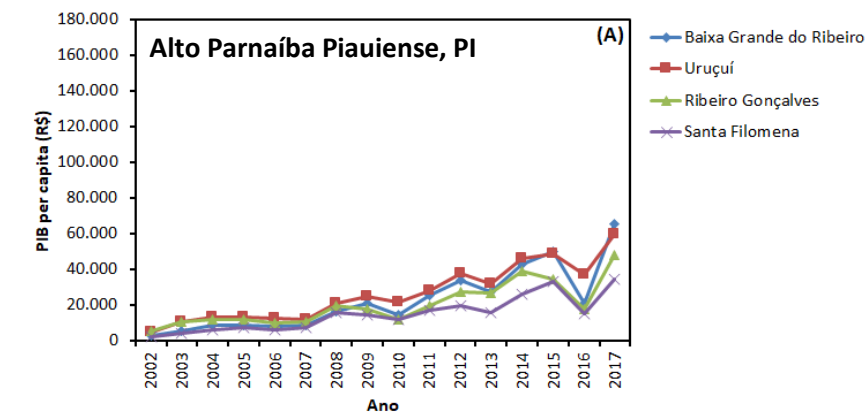


Figura 21. Produto interno bruto (PIB) per capita dos municípios que compõem as microrregiões de Alto Parnaíba Piauiense, PI (A), Alto Teles Pires, MT (B), Barreiras, BA (C), Dourados, MS (D), Gerais de Balsas, MA (E) e Sudoeste de Goiás, GO (F). Fonte: IBGE (2020a).

Em termos de IDH referente ao ano de 2010, as microrregiões de Alto Teles Pires, MT e Sudoeste de Goiás, GO apresentaram índices classificados na categoria considerada como *alto* (0,700 a 0,799) (**Figura 22**). As demais microrregiões situaram-se na categoria *médio* (0,600 a 0,699) e apenas Alto Parnaíba Piauiense foi considerada como *baixo* (0,500 a 0,599). A nível municipal, os 11 municípios com IDH mais altos localizaram-se nas microrregiões de Alto Teles Pires, MT, Sudoeste de Goiás, GO e Dourados, MS. O município de Barreiras, BA, com IDH = 0,721, apareceu em 12º lugar (dados não mostrados na forma de tabela ou figura).

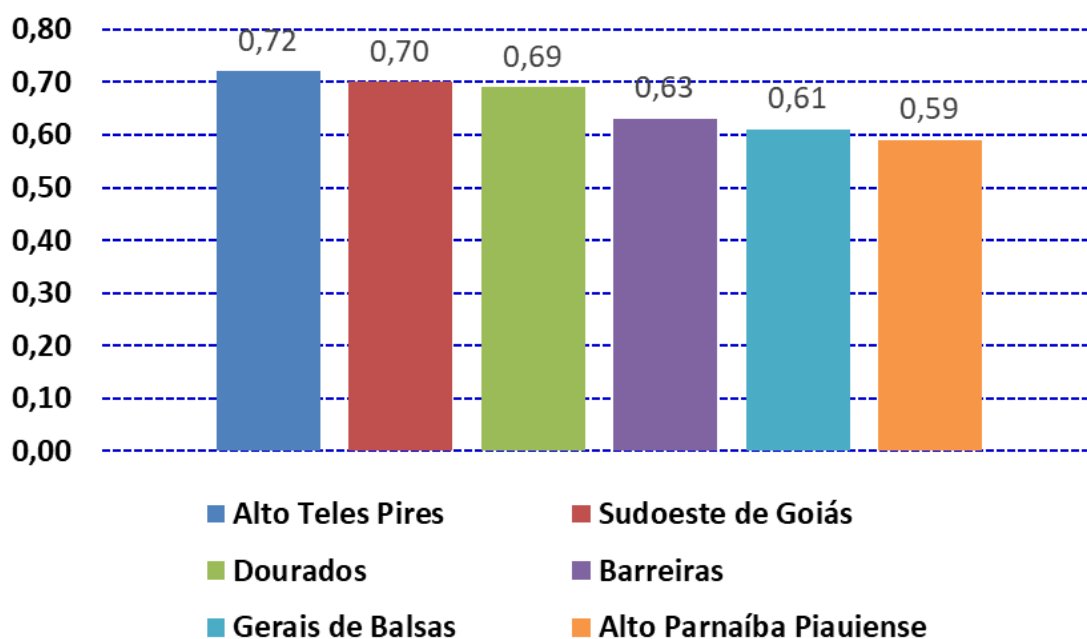


Figura 22. Índice de desenvolvimento humano (IDH) de 2010 das seis maiores microrregiões produtoras de soja no Cerrado. Fonte: PNUD (2013).

Verificou-se forte correlação entre a produção de soja (t) no período de 1974 a 2018 e o IDH ($R^2 = 0,89$), no intervalo de 1991 a 2010 e entre a produção de soja (1974 a 2018) e o PIB real ($R^2 = 0,61$), no período de 1920 a 2010. Essa análise indica que nas áreas de estudo há uma relação direta entre aumento da produção de soja e aumento do IDH e do PIB.

Em resumo, houve uma tendência de aumento do PIB nos municípios pertencentes às seis microrregiões com maior produção de soja no Cerrado, no período de 2002 a 2017. Essa tendência é mais ou menos acentuada, dependendo da microrregião. Em algumas microrregiões, apenas parte dos municípios integrantes apresentaram valores de PIB bastante elevados em relação aos demais. O IDH de 2010 demonstrou que não houve uma variação acentuada entre as microrregiões.

Praticamente todas as microrregiões foram classificadas nas categorias médio ou elevado, ficando bastante próximo do IDH nacional que é de 0,73 em 2010. Foi detectada forte relação entre a produção de soja (1974 a 2018) e o IDH (1991, 2000 e 2010) e entre a produção de soja e o PIB real (1920 a 2010).

Esses dados evidenciaram que a produção de soja nesses municípios contribuiu para o desenvolvimento social e econômico dessas áreas, assim como os resultados de Bolfe et al. (2016), Martinelli et. al. (2017), Bragança (2018) e de Cattelan e Dall’Agnol (2018) que consideram a soja como precursora para o desenvolvimento socioeconômico em algumas regiões do Brasil, constatando crescimento do IDH e PIB nos municípios produtores de soja. Esses resultados demonstram que por configurar em um empreendimento que requer grandes investimentos no processo agrícola, o complexo agroindustrial da soja tem impacto significativo na dimensão social, sendo responsável pela geração de mais de 4,5 milhões de novos postos de trabalho (Roessing e Lazzarotto, 2004). No aspecto econômico mobiliza diversos setores da sociedade, como as indústrias de maquinários e de insumos, fábricas de ração e usinas de biodiesel, empresas de desenvolvimento tecnológico, além de cooperativas e produtores rurais (Hirakuri e Lazzarotto, 2014).

Constata-se que os investimentos em pesquisa para a inserção de variedades genéticas mais resistentes, associado ao desenvolvimento de novas técnicas de rotação de cultura e políticas públicas de financiamento de crédito rural possibilitou a geração de empregos e renda para a população dessas cidades, com reflexo no aumento do IDH e do PIB (Warnken, 2000; IEA e Abag, 2016). Em 2017, a China importou o equivalente a 39,6 bilhões de dólares em grãos de soja. No mesmo ano, a soja foi o principal produto de exportação do Brasil, atingindo 25,7 bilhões de dólares e à frente de outras mercadorias como minério de ferro (19,1 bilhões de dólares), petróleo (16,6 bilhões) e açúcar (11,4 bilhões) (United Nations, 2019b). Esse cenário demonstra que a produção do grão de soja configura em um grande impulsionador da economia nacional, sendo considerada uma das principais *commodities* agrícolas, atingindo 50% da exportação para os mercados internacionais e contribuindo com aumento do PIB (CONAB, 2019).

No entanto, o aumento da produção de soja não reflete em melhores condições econômicas e qualidade de vida para todas as microrregiões do Cerrado, de modo que, em Alto Parnaíba Piauiense, se constata os menores indicadores socioeconômicos (IDH e PIB). Esses resultados correspondem com Buanain et al. (2017) que analisaram no

Cerrado Nordeste a ocorrência de uma economia agrícola mais tradicional, de baixo valor agregado, em convívio com sistemas intensivos de produção de soja e milho que visam maior produtividade. Pereira et al. (2018) ao mensurar a dinâmica econômica de MATOPIBA no intuito de verificar o peso de cada atividade produtiva para a região, identificaram que o PIB aumentou significativamente, porém a distribuição de renda não apresentou melhoria proporcional, devido somente utilizar a terra e a força de trabalho no campo, no qual os ganhos importantes para o desenvolvimento da região como compras de maquinários, insumos e toda tecnologia aplicada no cultivo da soja, ocorrem fora de MATOPIBA.

4.5. Considerações finais

Neste estudo, procurou-se caracterizar as condições físicas (em termos de precipitação, geomorfologia e solos), ambientais (em termos de passivo ambiental), econômicas (em termos de PIB per capita e PIB real) e sociais (em termos de IDH) das seis microrregiões do Cerrado com as maiores produções de soja. As seguintes conclusões foram obtidas:

- a produção de soja é feita sob condições de precipitação média anual superior a 1.150 mm;
- a produção de soja é feita em áreas com predomínio de chapadas ou planaltos;
- a produção de soja é feita principalmente em solos do tipo Latossolo;
- as seis microrregiões consideradas são responsáveis por 20% de toda a área colhida com soja no Brasil;
- o potencial de intensificação da produção de soja nessas seis microrregiões selecionadas é de 2 milhões de hectares;
- o passivo ambiental (áreas que devem ser recuperadas por força de legislação ambiental) ao longo das drenagens é de 23%;
- houve forte correlação entre produção de soja e IDH municipal e entre produção de soja e PIB real.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo constataram que a produção de soja possui padrões espaciais de dinâmica agrícola originados da porção sul do bioma Cerrado em direção ao centro-oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás) e posteriormente no norte com a inserção da nova fronteira agrícola de MATOPIBA. Essas áreas contribuíram para a exportação de aproximadamente 50% da produção nacional de soja destinadas para os mercados internacionais, indicando que a produção do grão é um grande impulsionador da economia nacional. Observa-se que os investimentos em pesquisa para mecanização agrícola dos solos, inserção de variedades genéticas mais resistentes associadas ao desenvolvimento de novas técnicas de rotação de cultura e políticas agrícolas de financiamento de crédito rural possibilitou o desenvolvimento de uma agricultura de alta escala de produção nessas áreas.

A caracterização física das áreas de maior produção de soja no Cerrado indicou que condições de precipitação média anual superior a 1.150 mm, em áreas com predomínio de chapadas ou planaltos e principalmente em solos do tipo Latossolos são fatores que limitam ou potencializam o desenvolvimento agrícola, sendo essas características ambientais de grande relevância para expansão da agricultura no bioma.

No aspecto ambiental, os resultados obtidos indicam a possibilidade de desenvolvimento de uma agricultura em alta escala de produção e também ambientalmente sustentável, ao verificar que a microrregião de Alto Teles Pires, com destaque para o município de Sorriso, configura entre os menores passivos ambientais concomitantemente com a maior quantidade de área colhida de soja. Nessas áreas, ocorrem altos investimentos tecnológicos para obtenção de maior produtividade em sistemas de plantio direto e de integração Lavoura-Pecuária (ILP), sendo uma alternativa para intensificação da produção de soja com aplicação de boas práticas agropecuárias que favorecem a recuperação dos solos degradados, eficiência na utilização dos recursos hídricos pelos sistemas de pivô central e preservação das áreas de proteção permanente (APPs) e reserva legal. Dessa forma, a associação desses sistemas de produção agrícola possibilita avanço no aspecto ambiental, com a recuperação dos ecossistemas naturais, e também progresso na dimensão socioeconômica, com a geração do valor agregado da terra e aumento da renda do produtor rural.

As maiores porcentagens de passivo ambiental encontradas em Dourados e Sudoeste de Goiás demonstram a necessidade de mudança na maneira como está sendo realizado o desenvolvimento agrícola nessas regiões, no qual uma importante estratégia é a inovação tecnológica na agricultura para o aumento da produtividade com utilização eficiente dos recursos naturais.

Esse estudo tem o intuito de subsidiar políticas públicas e ações do setor produtivo que visem a intensificação ecológica dos agroecossistemas, considerando os efeitos socioeconômicos regionais derivados da produção agrícola, e também contribuir com ações estratégicas na logística e armazenamento dos grãos, que configura em um dos desafios enfrentados na produção regional, além de políticas econômicas de inserção do mercado internacional. Nesse sentido, o avanço tecnológico na cadeia produtiva da soja tem que favorecer o desenvolvimento de uma agricultura sustentável em conjunto com o crescimento econômico, com aumento da renda per capita e expansão da demanda de consumo, e assim melhorar a qualidade de vida das pessoas e o desenvolvimento rural sustentável.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; FREITAS, R. M.; AGUIAR, D. A.; SUGAWARA, L. M.; MELLO, M. P. Remote sensing time series to evaluate direct land use change of recent expanded sugarcane crop in Brazil, **Sustainability**, 4, 574-585, 2012.
- ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. **De grão em grão, o Cerrado perde espaço. Cerrado, impactos do processo de ocupação**, Brasília, WWF, 66 p., 1995.
- ALMEIDA, E.; SABOGAL, C.; BRIENZA JÚNIOR, S. **Recuperação de áreas alteradas na Amazônia brasileira**. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 206 p., 2006.
- ALMEIDA, P. J.; BUAINAIN, A. M. Land leasing and sharecropping in Brazil: determinants, modus operandi and future perspectives. **Land Use Policy**, 52, 206-220, 2016.
- ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 74, 19-31, 1999.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: Bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba, Agropecuária, 592 p., 2002.
- ALTIERI, M. **Agroecologia: A Dinâmica Produtiva da Agricultura Sustentável**. 5^a ed. Porto Alegre, UFRGS, 120 p., 2009.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22, 6, 711-728, 2013.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**, 2^a ed., Brasília, ANA, 2019.
- ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F. Geotecnologia: recuperação de pastagens no Cerrado. **Agroanalysis**, 36, 2, 30-32, 2016.
- ANSELIN, L. **The Moran scatter plot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association**, Morgantown, Regional Research Institute, West Virginia University, 111-125, 1993.
- ANSELIN, L. Local indicators of spatial association – LISA. **Geographical Analysis**, 27, 2, 93-115, 1995.
- ANSELIN, L. The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association. In: Fischer, M. M.; Scholten, H. J.; Unwin, D. (eds.), **Spatial Analytical Perspectives on GIS**, Londres, Taylor e Francis, Cap. 8, 111-125, 1996.
- APROSOJA. Associação dos Produtores de Soja – Brasil. **Economia**. Disponível em: <<https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/economia/>>. Acesso em: 20 junho 2019.

ARAÚJO, M. L. S.; SANO, E. E.; BOLFE, E. L.; SANTOS, J. R. N.; SANTOS, J. S.; SILVA, F. B. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990-2015). **Land Use Policy**, 80, 57-67, 2019.

ARVOR, D.; MEIRELLES, M.; DUBREUIL, V.; BÈGUÉ, A.; SHIMABUKURO, Y. E. Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. **Applied Geography**, 32, 702-713, 2012.

ARVOR, D.; TRITSCH, I.; BARCELLOS, C.; JÉGOU, N.; DUBREUIL, V. Land use sustainability on the South-Eastern Amazon agricultural frontier: recent progress and the challenges ahead. **Applied Geography**, 80, 86-97, 2017.

ASSIS, T.; MARTINS, E. S.; COUTO JÚNIOR, A. F. C. Relações entre o relevo e os agroecossistemas na ecorregião Paraná-Guimarães. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 9, 2, 498-510, 2016.

BARBIRATO, F. E. L.; SOUZA, L. I. Matopiba: a expansão da agricultura em remanescentes de vegetação nativa do bioma Cerrado. **Sustentabilidade em Debate**, 7, 2018.

BARROS, I.; MARTINS, C. R.; RODRIGUES, S. G.; TEODORO, A. V. **Intensificação ecológica da agricultura**. Aracaju, Embrapa Tabuleiros, 33, 2016.

BENSUSAN, N. **Seria melhor mandar ladrilhar: biodiversidade como, para que, por quê**. São Paulo, Peirópolis, 2008.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELIGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, 58, 116-127, 2015.

BITTENCOURT ROSA, D.; ROCHA, L. C.; NASCIMENTO, L. A.; BACANI, V. M.; DAMASCENO, F. S. Cerrados environments and aspects of land use in Sao Jose dos Talhados region. **Confins**, 25, 1-30, 2015.

BOLFE, E. L.; VICTÓRIA, D. C.; CONTINI, E.; BAYMA-SILVA, G.; SPINELLI-ARAÚJO, L.; GOMES, D. Matopiba em crescimento agrícola. Aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de Política Agrícola**, 25, 4, 38-62, 2016.

BOLFE, E. L.; CAMPOS, S. K.; PENA JUNIOR, M. **Visão 2030: O futuro da agricultura brasileira**, 1ª ed. Brasília, Embrapa, 212, 2018.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. Campinas, Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1-6, 1981.

BRAGANÇA, A. The economic consequences of the agricultural expansion in Matopiba. **Revista Brasileira de Economia**, 72, 2, 161-185, 2018.

BRANNSTROM, C. Environmental policy reform on north-eastern Brazil's agricultural frontier, **Geoforum**, 36, 257-271, 2005.

BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A. M.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986–2002: comparative analysis and implications for land-use policy. **Land use policy**, 25,4, 579-595, 2008.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC**. Diário Oficial da União, Brasília, 29 dezembro 2009.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**, Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 maio 2012.

BRASIL. **Fundo de cooperação para expansão e capacidade produtiva Brasil e China**. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/assuntos/internacionais/fundo-brasil-china>>. Acesso em: 15 novembro 2017.

BROWN, J. C.; KOEPPE, M.; COLES, B.; PRICE, K. P. Soybean production and conversion of tropical forest in the Brazilian Amazon: the case of Vilhena, Rondônia, **Ambio A Journal of the Human Environment**, 34, 6, 462-469, 2005.

BUANAIN, A. M.; GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Dinâmica da economia e da agropecuária no MATOPIBA. Brasília, IPEA (Texto para Discussão), 65 p., 2017.

CÂMARA, G. M. S. Origem, difusão geográfica e importância da soja. In: CÂMARA, G. M. S. (Org.). **Soja: Tecnologia da Produção**. 1ª ed, Piracicaba, 1-25, 1998.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V. Análise espacial de áreas. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (eds.), **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, Embrapa, Cap. 5, 1-44. 2004.

CÂMARA, G. et al. **Modelling land use change in Brazil: 2000–2050**. São José dos Campos, Brasília, Laxenburg, Cambridge, INPE, IPEA, IIASA, UNEP-WCMC, 1ª ed., 107 p., 2015.

CAMPOS, M. C. **A Embrapa Soja em Londrina, PR: a pesquisa agrícola de um país moderno** (tese de doutorado). Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 123 p., 2010.

CARNEIRO FILHO, A.; COSTA, K. **A expansão da soja no Cerrado. Caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável**. São Paulo, Agroicone, 1-30, 2016.

CASTRO, P. R. R. Efeitos de fitoreguladores na produtividade da soja (*Glycine max* cv. Davis) em competição. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, 38, 1, 289-298, 1981.

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil, **Oilseeds, Fats Crops and Lipids**, 25, 1, D102, 1-12, 2018.

CAVALCANTI, M. A.; BARREIRA, C. C. M. A. Ações da Sudeco no desenvolvimento do centro-oeste no Estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, 31, 2, 179-191, 2011.

CHAEBO, G.; SALIM NETO, N.; CAMPEÃO, P.; NORILLER, R. M.; LUCENA, R. M. Silvicultura em Mato Grosso do Sul: desafios e perspectivas a formação de um arranjo produtivo local. **Revista de Administração da UEG**, 2, 2, 23-39, 2011.

CHILDS, C. **Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst**, 32-35, 2004.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos de solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16, 1, 37-43, 2012.

CLEMENTE, A. M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; McMANUS, C.; TURAZI, C. M. V.; HERMUCHE, P. M. Spatial-temporal patterns of bean crop in Brazil over the period 1990–2013. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, 6, 107, 1-18, 2017.

CLEMENTS, E. A.; FERNANDES, S. B. M. Land grabbing, agribusiness and the peasantry in Brazil and Mozambique. **Journal of Political Economy**, 2,1, 41-69, 2013.

CLIFF, A. D.; ORD, J. K. **Spatial Processes. Models and Applications**, Londres, Pion Ltd., 266 p., 1981.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. 6 - Safra 2018/2019, 9, Brasília, CONAB, 2019.

CONTE, O.; PRANDO, A. M.; CASTRO, C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CAMPOS, L. J. M.; RAMOS JUNIOR, E. U.; HIRAKURI, M. H.; ZITO, R. K.; GODINHO, V. P. C.; BROGIN, R. L.; ARAUJO, L. V. A evolução da produção da soja na macrorregião de sojícula 4. In: HIRAKURI, M. H.; CONTE, O.; PRANDO, A. M.; CASTRO, C.; BALBINOT JUNIOR, A. A. (Eds.). **Diagnóstico da Produção de Soja na Macrorregião Sojícula 4**, Londrina, Embrapa Soja, 120, 2019.

COUTO Jr., A. F.; CARVALHO Jr., O. A.; MARTINS, E. S.; SOUZA, V. V.; FARIAS, M. F.; ENCINAS, J. M. Relação entre uso e ocupação do solo e os aspectos geomorfológicos no município de Águas Lindas de Goiás. **Espaço e Geografia**, 10, 125-141, 2007.

CROCOMO, C.; SPEHAR, C. R. **Nova variedade de soja para o Cerrado**. Brasília, CPAC (Comunicado Técnico), 16, 1-5, 1981.

DAL LAGO, A. O. Programa de cooperação nipo-brasileira para o desenvolvimento dos cerrados (Prodecer II) na cooperativa dos produtores agropecuários do Paraíso e região (Copper), na conjuntura do desenvolvimento local - Paraíso das Águas-MS (1985-2012). Dissertação de mestrado, Campo Grande, Universidade Católica Dom Bosco, 90 p., 2014.

DIAS, L. C. P.; PIMENTA, F. M.; SANTOS, A. B.; COSTA, M. H.; LADLE, R. J. Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. **Global Change Biology**, 16 p., 2016.

DU BOIS, C. M.; TAN, C. B.; MINTZ, S. **The World of Soy**. Illinois, University of Illinois press, 352, 2008.

D'UTRA, G. . **Jornal do Agricultor**, Rio de Janeiro, 4, 7, 185-188, 1882.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (Ed.). **Cerrado: Caracterização, Ocupação e Perspectivas**, 2ª ed., Brasília, UnB- SEMATEC, p. 17-73, 1994.

FAO/IFAD/UNICEF/WFP/ WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2019**. Safeguarding against economic slowdowns and downturns. Roma, FAO, 239 p., 2019.

FARIAS, G. M.; ZAMBERLAN, C. O. Expansão da fronteira agrícola: impacto das políticas de desenvolvimento regional no centro-oeste brasileiro. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, 2, 2, 58-68, 2014.

FBDS. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. **Mapeamento em Alta Resolução dos Biomas Brasileiros**. Rio de Janeiro, FBDS. Disponível em: <<http://geo.fbds.org.br/>>. Acesso em: 07 janeiro 2020.

FEBRAPDP. Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Área PD Brasil e estados**. Disponível em: <<https://febrapdp.org.br/download/area-PD-Brasil-e-estados.pdf>>. Acesso em: 28 março 2020.

FERNANDES, W. G.; AGUIAR, L. M. S.; ANJOS, A. F.; BUSTAMANTE, M.; COLLEVAT, R. G. et al. Cerrado um bioma rico e ameaçado. In: PEIXOTO, A. L.; LUZ, J. R. P.; BRITO, M. A. (Org.). **Conhecendo a Biodiversidade**. Brasília, MCTIC, CNPq, PPBio, 196 p., 2016.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M.; FERREIRA, N. C. Dinâmica agrícola e desmatamentos em áreas de cerrado: uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada. **Revista Brasileira de Cartografia**, 61, 2, 117-127, 2009.

FERREIRA, J.; PARDINI, R.; METZGER, J. P.; FONSECA, C. R.; POMPEU, P. S.; SPAROVEK, G.; LOUZADA, J. Towards environmentally sustainable agriculture in Brazil: challenges and opportunities for applied ecological research. **Journal of Applied Ecology**, 49, 535–541, 2012.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, 37, 12, 4302-4315, 2017.

FIGUEIREDO, L. **Boa Ventura: A Corrida do Ouro no Brasil (1697-1810)**. Ed. Record, 2012.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. Expansão agrícola no Brasil e a participação da soja: 20 anos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 54, 3, 497-516, 2016.

FUNAI. Fundação Nacional do Índio. **Terras Índigenas**. Disponível em: <<http://www.funai.gov.br>>. Acesso em: 10 fevereiro 2020.

FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian Cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, 8, 223-241, 1999.

GANEM, R.; DRUMMOND, J. Conservation policies and control of habitat fragmentation in the Brazilian Cerrado biome. **Ambiente e Sociedade**, 16, 3, 99-118, 2013.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecosystem Sustainability: Developing Practical Strategies**, Boca Raton, CRC Press, 224 p., 2000.

GRECCHI, R. C.; GWYN, Q. H. J.; BÉNIÉ, G. B.; FORMAGGIO, A. R.; FAHL, F. C. Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: a multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. **Applied Geography**, 55, 300-312, 2014.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Orgs.). **Agricultura de Precisão: Resultados de um Novo Olhar**. 2ª ed., Brasília, Embrapa, 1, 74-83, 2014.

HAMPF, A. C.; STELLA, T.; BERG-MOHNICKEL M.; KAWOHL, T.; KILIAN M.; NENDEL, C. Future yields of double-cropping systems in the Southern Amazon, Brazil, under climate change and technological development. **Agricultural Systems**, 177, 102707, 2020.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina, Embrapa Soja, 70 p., 2014.

HOSONO, A.; ROCHA, C. M. C.; HONGO, Y. **Development for Sustainable Agriculture. The Brazilian Cerrado**. Houndmills, Palgrave MacMillan, 257 p., 2016.

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic Botany**, 24, 408-421, 1970.

HYMOWITZ, T.; SHURTLEFF, W. R. Debunking soybean myths and legends in the historical and popular literature. **Crop Science**, 45, 2, 473-476, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas e de Vegetação**. Rio de Janeiro, IBGE, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 13 agosto 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, IBGE, 2ª ed., 316 p., 2007. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=downloads>> Acesso em: 30 janeiro 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro, IBGE, 2ª ed., 175 p., 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Territorial Brasileira – DTB**. Rio de Janeiro, IBGE, 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/23701-divisao-territorial-brasileira.html?edicao=23704&t=downloads>>. Acesso em: 13 agosto 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2017**. Rio de Janeiro, IBGE, 2017a. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2017_v44_br_informativo.pdf>. Acesso em: 13 outubro 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agro 2017**. Rio de Janeiro, IBGE, 2017b. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/produtores.html>. Acesso em: 4 abril 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal. PAM 2018**. Rio de Janeiro, IBGE, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 15 janeiro 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomás**. Rio de Janeiro, IBGE, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 21 março 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2002-2017**. Rio de Janeiro, IBGE, 2020a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>>. Acesso em: 15 fevereiro 2020.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Unidades de Conservação**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamentos/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s>>. Acesso em: 10 fevereiro 2020.

IEAG. Instituto de Estudos do Agronegócio. ABAG. Associação Brasileira do Agronegócio. **O futuro da soja nacional**. São Paulo, Sparks, 28, 2016.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Brasília, INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 15 fevereiro 2020.

INOCÊNCIO, M. E. **As tramas do poder na territorialização do capital no Cerrado: o Prodecer**. Tese de doutoramento, Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 272 p., 2010.

IORIS, A. A. Rent of agribusiness in the Amazon: A case study from Mato Grosso. **Land Use Policy**, 59, 456-466, 2016.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Produto Interno Bruto dos Municípios a preços correntes 1920-2010**. 2020. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: 3 Abr. 2020.

KLUTHCOUSKI, J.; CORDEIRO, L. A. M. Do plantio direto aos sistemas de integração entre lavoura e pecuária: trajetórias da produtividade agropecuária. In: BOLFE, E. L. (Coord.), **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, Embrapa, 213, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/olhares-para-2030/intensificacao-e-sustentabilidade-dos-sistemas-de-producao-agricolas/-/asset_publisher/MpEPEYHn8qxt/content/joao-k-e-luiz-adriano?inheritRedirect=true>. Acesso: 1 abril 2020.

LEGENDRE, P. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm. **Ecology**, 74, 6, 1659-1673, 1993.

LIMA, J. E. F. W. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. **Ciência e Cultura**, 63, 3, 27-29, 2011.

LOPES, S. F.; VALE, V. S.; OLIVEIRA, A. P.; SCHIAVINI, I. Comparative analysis of the structure and floristic composition of Cerrado vegetation in central Brazil. **Interciência**, 36, 1, 8-15, 2011.

LOPES, M. A.; CONTINI, E. Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. **Agroanalysis**, 32, 2, 27-34, 2012.

LORENZ, M. O. Methods of measuring the concentration of wealth. **American Statistical Association**, 70, 209-219, 1905.

LUCIANO, A. C. S.; PICOLI, M. C. A.; ROCHA, J. V.; DUFT, D. D.; LAMPARELLI, R. A. C.; LEAL, M. R. L. V.; MAIRE, G. L. A generalized space-time OBIA classification scheme to map sugarcane areas at regional scales, using Landsat images time-series and the random forest algorithm. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 80, 127-136, 2019.

LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F.; BARROS, A. H. C.; AGLIO, M. L. D.; SILVEIRA, H. L. F.; QUARTAROLI, C. F.; ALMEIDA, R. E. M.; FREITAS, P. L. **Aptidão agrícola das terras do Matopiba**, Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 49, 2015.

MACEDO, M. C. M.; ARAUJO, A. R. Sistemas de integração lavoura pecuária: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. In: BUNGESTA, D. J. (Org.). **Sistemas de Integração - a Produção Sustentável**, 2ª ed., Brasília, Embrapa, 1, 28-48, 2012.

MACEDO, M. N.; DeFRIES, R. S.; MORTON, D. C.; STICKLER, C. M.; GALFORD, G. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Decoupling of deforestation and soy production in the

southern Amazon during the late 2000s, **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 109, 1341–1346, 2014.

MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. **Estrutura dos sistemas de integração lavoura-pecuária**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 46, 2011.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Brasília, MAPA, MDA, 176 p., 2012.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 projeções de longo prazo**. Brasília: MAPA/ACE, 112 p., 2018.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Plano ABC em Números**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-em-numeros/plano-abc-em-numeros>>. Acesso em: 1 abril 2020.

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil, Cobertura e uso do solo**. Disponível em: <<https://plataforma.mapbiomas.org/stats>>. Acesso em: 23 março 2020.

MARANHÃO, R. L. A.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; HERMUCHE, P. M.; GOMES, R. A. T.; PIMENTEL, C. M. M.; GUIMARÃES, R. F. The spatiotemporal dynamics of soybean and cattle production in Brazil, **Sustainability**, 11, 2150, 1-13, 2019.

MARTINELLI, L. A.; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P. M.; MOUTINHO, P. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 2, 5–6, 431–438, 2010.

MARTINELLI, L.A.; BATISTELLA, M.; SILVA, R.F.B.; MORAN, E. Soy expansion and socioeconomic development in municipalities of Brazil. **Land**, 6, 62, 2017.

McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of precision agriculture. **Precision Agriculture**, 6, 1, 7-23, 2005.

McMANUS, C.; BARCELLOS, J. O. J.; FORMENTON, B. K.; HERMUCHE, P. M.; CARVALHO, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GIANEZINI, M.; DIAS, E. A.; LAMPERT, V. N.; ZAGO, D. et al. Dynamics of cattle production in Brazil. **PLOS One**, 11, e0147138, 1-15, 2016.

MENKE, A. B.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, S. N. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luís Eduardo Magalhães (BA – Brasil). **Sociedade e Natureza**, 21, 3, 315-326, 2009.

MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. **Um sistema de inteligência territorial estratégica para Matopiba.** Campinas, Embrapa Monitoramento por Satélite, 26, 2014.

MISSIO, F. J.; RIVAS, R. M. R. Aspectos da formação econômica de Mato Grosso do Sul. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, 49, 3, 601-632, 2019.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional de Conservação e Uso Sustentável do Bioma Cerrado.** Brasília, MMA, 56 p., 2003.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do uso e cobertura da terra do Cerrado. Projeto TerraClass Cerrado 2013.** Brasília, MMA, 69 p., 2015.

MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Relation of soils and geomorphic surfaces in the Brazilian Cerrado. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (eds.), **The Cerrado of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**, Nova York, Columbia University Press, p. 13-32, 2002.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **A ONU e a alimentação.** Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/alimentacao/>>. Acesso em: 14 outubro 2019.

NAKASHIMA, K.; KANAMORI, N.; NAGATOSHI, Y.; FUJITA, Y.; TAKASAKI, H.; URANO, K.; FARIAS, J. R. B. Application of biotechnology to generate drought-tolerant soybean plants in Brazil: development of genetic engineering technology of crops with stress tolerance against degradation of global environment. In: KOKUBUN, M.; ASANUMA, S. (eds.). **Crop Production under Stressful Conditions.** Singapore, Springer, 111-130, 2018.

NEHRING, R. Yield of dreams: marching west and the politics of scientific knowledge in the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa). **Geoforum**, 77, 206-217, 2016.

NEWBERRY, D. Why are there cattle in the conservation area: Social barriers to biofuel governance in Brazil. **Geoforum**, 54, 306-314, 2014.

NICHOLLS, C.; ALTIERI, M. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 33, 2, 257-274, 2013.

NOOJIPADY, P.; MORTON, D. C.; MACEDO, M. N.; VICTORIA, D. C.; HUANG, C.; GIBBS, H. K.; BOLFE, E. L. Forest carbon emissions from cropland expansion in the Brazilian Cerrado biome. **Environmental Research Letters**, 12, 025004, 1-11, 2017.

OCDE-FAO. Organisation de Coopération et de Développement Économiques - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Agricultural Outlook 2019-2028.** Paris/Roma, OECD/FAO, 326 p., 2019.

ODUM, E. P. Properties of agroecosystems. In: LOWRANCE, B. R.; STINNER, G. J. H. (eds.) **Agricultural Ecosystems**, Nova York, John Wiley, 5-11, 1984.

PALLIEUX, A. **Le soya, sa composition chimique, ses variétés, sa culture et ses usages**, France, 3, 538-576, 1880.

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos Avançados**, 43, 303-326, 2001.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, 11, 1633-1644, 2007.

PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N.; PORCIONATO, G. L. **Dinâmica econômica, infraestrutura e logística no MATOPIBA**. Rio de Janeiro, IPEA (Texto para Discussão), 96 p., 2018.

PESSÔA, V. L. S.; INOCÊNCIO, M. E. O PRODECER (re)visitado: as engrenagens da territorialização do capital no Cerrado. **Campo-Território**, 1, 1-22, 2014.

PICOLI, M. C. A.; CAMARA, G.; SANCHES, I. D.; SIMÕES, R.; CARVALHO, A.; MACIEL, A.; COUTINHO, A.; ESQUERDO, J.; ANTUNES, J.; BEGOTTI, R. A.; ARVOR, D.; ALMEIDA, C. Big earth observation time series analysis for monitoring Brazilian agriculture. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 1-13, 2018.

PICOLI, M. C. A.; RORATO, A.; LEITÃO, P.; CAMARA, G.; MACIEL, A.; HOSTERT, P.; SANCHES, I. D. Impacts of public and private sector policies on soybean and pasture expansion in Mato Grosso – Brazil from 2001 to 2017. **Land**, 9, 20, 1-15, 2020.

PINTO, M. P.; BINI, L. M.; DINIZ-FILHO, J. A. F. Análise quantitativa da influência de um novo paradigma ecológico: autocorrelação espacial. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, 25, 1, 137-143, 2003.

PIRES, M. O. Programa agrícolas na ocupação do Cerrado. **Sociedade e Cultura**, 3, 1-2, 111-131, 2000.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013**. Brasília, PNUD, Ipea, FJP, 2013, 51 p. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/ranking/>>. Acesso em: 18 fevereiro 2020.

PRETTY, J. **Participatory learning for sustainable agriculture**. World Development, 23, 1247-1263, 1995.

QIU, L. J.; CHANG, R. Z. The origin and history of soybean. In: SINGH, G. (Ed.), **The Soybean: Botany, Production and Uses**. Oxford, CABI Publishing, 2010.

RADA, N. Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle. **Food Policy**, 38, 146-155, 2013.

RASCHE, F.; CADISCH, G. The molecular microbial perspective of organic matter turnover and nutrient cycling in tropical agroecosystems - What do we know? **Biology and Fertility of Soils**, 493, 251-262, 2013.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, 80, 223-230, 1997.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; MARTINS, E. S. Solos do bioma Cerrado: Aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO J. F. (Orgs.). **Cerrado: Ecologia e Flora**, 2ª ed., Planaltina, Embrapa Cerrados, Cap. 5, 107-149, 2008.

RIBEIRO, R. F. Da largueza ao cercamento: um balanço dos programas de desenvolvimento do cerrado. In: ZHOURI, A.; LASCHEFSKI, K.; PEREIRA, D. B.; (Orgs.). **A Insustentável Leveza da Política Ambiental. Desenvolvimento e conflitos socioambientais**, 1ª ed., Belo Horizonte, Autêntica Editora, 287 p., 2005.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Orgs.), **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília, Embrapa Cerrados, 2008.

RIBEIRO, D. **O Povo Brasileiro**. 3ª ed., São Paulo, Companhia das Letras, 480 p., 2015.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, 19, 1, 41-66, 2009.

ROESSING, A. C.; LAZZAROTTO, J. J. **Criação de empregos pelo complexo agroindustrial da soja**. Londrina, Embrapa Soja, 50 p., 2004.

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGUWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. **Remote Sensing**, 2, 1057-1076, 2010.

RUDORFF, B. F. T.; RISSO, J. **Análise geoespacial da dinâmica das culturas anuais no bioma Cerrado: 2000 a 2014**. Florianópolis, Agrosatélite, 28 p., 2015.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista da Economia e Sociologia Rural**, 56, 2, 195-212, 2018.

SANCHES, A. C.; MICHELLON, E.; ROESSING, A. C. Os limites de expansão da soja. **Informe GEPEC**, 9, 1, 2004.

SANO, E. E.; BARCELLOS, A. O.; BEZERRA, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, 22, 2-15, 2001.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, 166,1-4, 113-124, 2010.

SANO, E. E.; SANTOS, C. C. M.; SILVA, E. M.; CHAVES, J. M. Fronteira agrícola do oeste baiano. Considerações sobre os aspectos temporais e ambientais. **Geociências**, 30, 3, 479-489, 2011.

SANO, E. E. et al. Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 54, e00138, 2019a.

SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; BEZERRA, A. S.; COUTO Jr., A. F.; VASCONCELOS, V.; SCHÜLER, J.; BOLFE, E. L. Cerrado ecoregions: a spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, 232, 818-828, 2019b.

SANTOS, V. F. D.; POLIDORI, L.; SILVEIRA, O. F. M. D.; FIGUEIREDO Jr., A. G. D. Aplicação de dados multisensor (SAR e ETM+) no reconhecimento de padrões de uso e ocupação do solo em costas tropicais: costa Amazônica, Amapá, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, 27, 39-55, 2008.

SANTOS, C. C. M. Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o desenvolvimento dos Cerrados – PRODECER: um espectro ronda os Cerrados brasileiros. **Estudos Sociedade e Agricultura**, 24, 2, 1-33, 2016.

SANTOS, J. F. S.; NAVAL, L. P. Water footprint of soybean production in areas of recent agricultural expansion in Brazilian savanna (Cerrado). **Journal of Cleaner Production**, 6, 63-72, 2019.

SCARAMUZZA, C. A. M.; SANO, E. E.; ADAMI, M.; BOLFE, E. L.; COUTINHO, A. C. et al. Land-use and land-cover mapping of the Brazilian Cerrado based mainly on Landsat-8 satellite images. **Revista Brasileira de Cartografia**, 69, 6, 1041-1051, 2017.

SCHLEIFER, P. Private regulation and global economic change: the drivers of sustainable agriculture in Brazil. **Wiley Governance**, 1-18, 2016.

SEARCHINGER, T.; WAITE, R.; HANSON, C.; RANGANATHAN, J. **Creating a sustainable food future**: a menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050. Washington D.C., WRI/IBRD-IDA/ONU Environment/PNUD/CIRAD/INRA, 564 p., 2019.

SFB. Serviço Florestal Brasileiro. **Manual Operativo. Projeto Gestão Integrada de Paisagens no Bioma Cerrado – FIP Paisagem**. Brasília, SFB, MAPA e GIZ, 48 p.,2018.

SFB. Serviço Florestal Brasileiro. **Projeto Paisagens Rurais**. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/projeto-fip-paisagem>>. Acesso em: 10 dezembro 2019.

SHURTLEFF, W.; AOYAGI, A. **History of fermented black soybeans (165 B.C to 2011)**. Lafayette, Soyinfo Center, 398, 2011.

SILVA, J.; BATES, J. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A tropical savanna hotspot. **Bioscience**, 52, 225-233, 2002.

SILVA, J. F.; FARIÑAS, M. R.; FELFILI, J. M.; KLINK, C. A. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, 33, 536-548, 2006.

SMITH, I. A.; HUTYRA, L. R.; REINMANN, A. B.; THOMPSON, J. R.; ALLEN, D. W. Evidence for edge enhancements of soil respiration in temperate forests. **Geophysical Research Letters**, 46, 8, 4278-4287, 2019.

SOTERRONI, A. C.; RAMOS, F. M.; MOSNIER, A.; FARGIONE, J.; ANDRADE, P. R.; BAUMGARTEN, L.; PIRKER, J.; OBERSTEINER, M.; KRAXNER, F.; CÂMARA, G.; CARVALHO, A. X. Y.; POLASKY, S. Expanding the soy moratorium to Brazil's Cerrado. **Science Advances**, 5, eaav7336, 1-9, 2019.

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

SPERA, S. A.; COHN, A. S.; VANWEY, L. K.; MUSTARD, J. F.; RUDORFF, B. F.; RISSO, J.; ADAMI, M. Recent cropping frequency, expansion, and abandonment in Mato Grosso, Brazil had selective land characteristics. **Environmental Research Letters**, 9, 064010, 1-13, 2014.

SPERA, S. A.; GALFORD, G. L.; COE, M. T.; MACEDO, M. N.; MUSTARD, J. F. Land use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global Change Biology**, 22, 10, 3405-3413, 2016.

SPERA, S. Agricultural intensification can preserve the Brazilian Cerrado. Applying lessons from Mato Grosso and Goiás to Brazil's last agricultural frontier. **Tropical Conservation Science**, 10, 1-7, 2017.

SWIFT, M. J.; IZAC, A. M. N.; NOORDWIJK, M. V. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes: are we asking the right questions? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 104, 113-134, 2004.

TOBLER, W. R. Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions. **Journal of the American Statistical Association**, 74, 367, 519-530, 1979.

TRANCOSO, R.; SANO, E.; MENESES, P. The spectral changes of deforestation in the Brazilian tropical savanna. **Environmental Monitoring and Assessment**, 187, 1, 1-15, 2015.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2019**. New York, United Nations, 46 p., 2019a.

UNITED NATIONS. **2017 International Trade Statistics Yearbook (2017 ITSY)**. Nova York, Nações Unidas, 1, 398, 2019b.

USDA. United States Department of Agriculture. **USDA Agricultural Projections to 2028**. Washington D. C., USDA, 108 p., 2019.

USDA. United States Department of Agriculture. **USDA Agricultural Projections to 2029**. Washington D. C., USDA, 114 p., 2020.

WARNKEN, P. O futuro da soja no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, 2, 2000.

WOOD, S. A.; KARP, D. S.; DECLERCK, F.; KREMEN, C.; NAEEM, S.; PALM, C. A. Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. **Trends in Ecology e Evolution**, 30, 9, 531-539, 2015.

WTO. World Trade Organization. **World Trade Statistical Review 2019**. Genebra, WTO, 178, 2019.

ZALLES, V.; HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; STEHMAN, S. V.; TYUKAVINA, A.; PICKENS, A.; SONG, X-P.; ADUSEI, B.; OKPA, C.; AGUILAR, R.; JOHN, N.; CHAVEZ, S. Near doubling of Brazil's intensive row crop area since 2000. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 116, 2, 428-435, 2019.

ZAVATINI, J. A. Dinâmica climática no Mato Grosso do Sul. **Geografia**, 17, 2, 65-91, 1992.

ZHANG, C.; LUO, L.; XU, W.; LEDWITH, V. Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. **Science of The Total Environment**, 398, 1-3, 212-221, 2008.