

# Análise Geoespacial da Soja Bioma Cerrado

DINÂMICA DA EXPANSÃO | APTIDÃO AGRÍCOLA  
SISTEMA DE AVALIAÇÃO PARA COMPENSAÇÃO FINANCEIRA

2001 

 2019

PATROCÍNIO



REALIZAÇÃO



### Coordenação geral

Bernardo Rudorff

Joel Risso

### Coordenação de equipes

Daniel Alves de Aguiar

Moisés Salgado

### Equipe técnica de geoprocessamento e sensoriamento remoto

Ana Cristina Theisges

André Felipe Tabalipa

Charles Zanovello Baldi

Cristian Back | líder do mapeamento da soja

Luana Quaresma

Lucas Kreutzfeld

Luciana de Oliveira

Marlon Martins

Martha Dellagnelo

Monique Horst

Nildson França e Silva | líder da avaliação de aptidão agrícola da soja

Rodrigo Bianchini Pereira

Tania Nakaya Aulicino

Yuri Perotto

Vitoria Bernardino

### Equipe técnica de tecnologia da informação

Caio Stein

Eglen Protas

Gabriel Marques

Marciano Saraiva

Nathaniel Lacerda

Pedro Veloso

Reneilson Santos

Willian Krueger | líder do desenvolvimento do sistema CCM

### Produção Editorial e Editoração Eletrônica

Leticia Rey

AG281a

Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda. Análise Geoespacial da Soja no Bioma Cerrado: Dinâmica da Expansão | Aptidão Agrícola da Soja | Sistema De Avaliação Para Compensação Financeira: 2001 a 2019. - Florianópolis, 2020  
60 p. : il

ISBN: 978-65-991465-1-0

1. Mapeamento de soja, safra 2018/19. 2. Bioma Cerrado. 3. Imagens de satélite. I. 4. Aptidão Agrícola da Soja. 5. Sistema de avaliação para a Compensação Financeira. I. Rudorff, Bernardo. II. Risso, Joel. III. Título.

CDD: 550

CDU: 528

# SUMÁRIO EXECUTIVO

A Agrosatélite vem dedicando esforços para realizar estudos com informações objetivas sobre a crescente expansão da soja no bioma Cerrado. Milhares de imagens de satélites adquiridas desde o início dos anos 2000 têm sido processadas e analisadas para acompanhar a evolução da sojicultura, tanto pela sua importância econômica quanto pelas preocupações relacionadas aos impactos socioambientais causados pela expansão dessa atividade no bioma.

O presente estudo atualiza a série histórica de dados e amplia o conhecimento sobre as tendências mais recentes relacionadas às mudanças de uso e cobertura da terra decorrentes da expansão da soja. Fornece também informações sobre a distribuição espacial das áreas de vegetação nativa e áreas antrópicas com aptidão agrícola para a sojicultura. De forma complementar, o trabalho apresenta um sistema que permite avaliar a aptidão agrícola da soja nos excedentes de Reserva Legal em imóveis rurais nos quais se cultiva soja – e verificar se essas propriedades estão qualificadas para receber compensações financeiras pela manutenção desses excedentes. Para melhor captar a diversidade regional, o bioma Cerrado foi dividido em duas áreas: Outros Estados (composta por Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Rondônia e pelo Distrito Federal) e Matopiba (formado por Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia).

O estudo mostra que nas últimas 18 safras, a área de soja no bioma Cerrado cresceu 2,4 vezes, passando de 7,53 para 18,20 Mha, respondendo por 51% da área nacional de soja. Quase um terço da expansão se concentrou no Matopiba, onde a área de soja aumentou de 0,97 para 4,18 Mha no mesmo período – em 2018/19, a região deteve 23% da área de soja cultivada no Cerrado. Entre as safras 2016/17 – 2018/19 houve ligeira queda na taxa anual de expansão da soja no bioma, puxada justamente pela desaceleração no Matopiba. A expansão da soja sobre áreas desmatadas no Cerrado apresenta quedas sucessivas, saindo de 215 mil hectares anuais no período de 2000/01 – 2006/07 para 73 mil hectares entre 2013/14 – 2018/19.

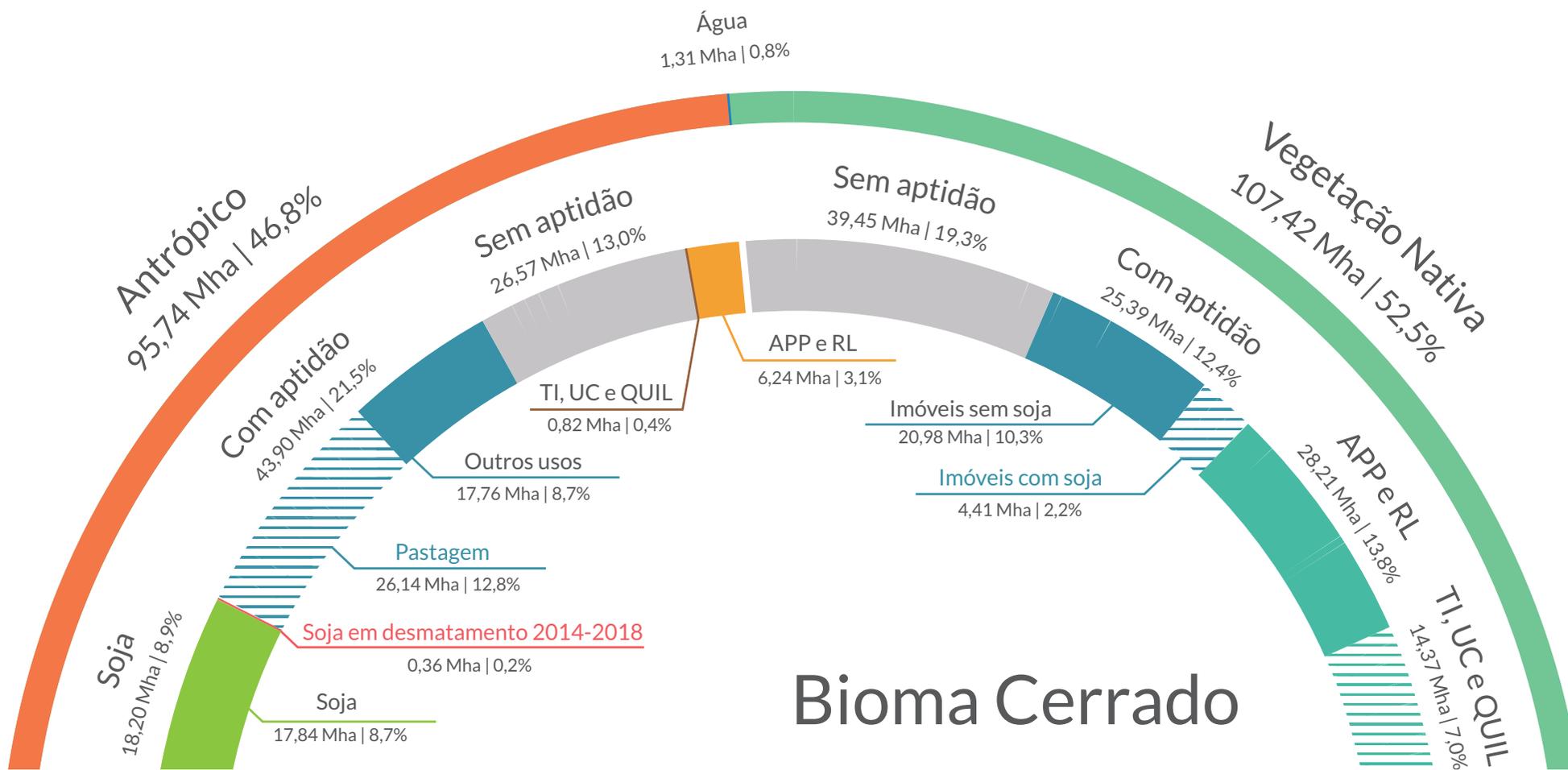
Tanto no Matopiba quanto nos Outros Estados, a rotação de culturas e o pousio influenciam a dinâmica da expansão da soja entre as safras. A conversão de pastagens é mais

relevante nos Outros Estados, contribuindo com 67,2% (1,23 Mha) da expansão de 2013/14 – 2018/19. Neste período o desmatamento na região representou apenas 4,4% (0,08 Mha) da expansão líquida da área de soja.

No Matopiba, a conversão de pastagens teve menor contribuição, com apenas 28,6% (0,22 Mha) de 2013/14 – 2018/19. O desmatamento teve maior participação, representando 36,4% (0,28 Mha) da expansão líquida. No entanto, é preciso destacar a tendência de queda evidenciada pela comparação da expansão de soja de 2013/14 – 2018/19 com o que ocorreu em dois períodos anteriores (de 2000/1 – 2006/07 e de 2006/07 – 2013/14).

O Cerrado tem 95,73 Mha (46,8%) da sua área antropizada, dos quais 26,14 Mha estão com pastagem em área de aptidão agrícola para soja, com maior sobreposição na região dos Outros Estados (22,55 Mha) e, no Matopiba (3,59 Mha), com concentração no estado do Tocantins (2,83 Mha). Até a safra 2028/29, espera-se que a área cultivada com soja no bioma cresça em até 5,0 Mha e a expectativa é que isso ocorra nestas áreas com pasto apto. O maior potencial para esta conversão encontra-se nos 6,10 Mha existentes nos imóveis rurais situados no bioma que já produzem soja. Nesses imóveis, o excedente de vegetação nativa com aptidão para soja é de 4,41 Mha, distribuídos em porções quase iguais entre a região dos Outros Estados (2,25 Mha) e a do Matopiba (2,16 Mha). Essa área representa o total passível de compensação financeira de acordo com o mecanismo em discussão para o bioma Cerrado.

A avaliação da elegibilidade para compensação financeira será feita por meio do sistema em formatação denominado de CCM – “Cerrado Conservation Mechanism”. Trata-se de uma plataforma web desenvolvida para auxiliar os diversos atores envolvidos neste mecanismo de conservação, disponível na internet no endereço <https://psacerrado.com.br>.



# ÍNDICE

1. Introdução .....	6
2. Dinâmica da expansão da soja .....	8
2.1 Evolução da área cultivada com soja .....	9
2.2 Total de desmatamento no Cerrado .....	16
2.3 Mudança de uso e cobertura da terra atribuída à soja .....	17
2.3.1 Dinâmica da expansão da soja com e sem desmatamento .....	17
2.3.2 Dinâmica da mudança de uso e cobertura 2000/01 a 2018/19 .....	19
2.3.2.1 Detalhamento da dinâmica de expansão e retração   2013/14 a 2018/19	20
3. Aptidão agrícola da soja .....	33
3.1 Antecedentes .....	34
3.2 Materiais .....	34
3.3 Síntese metodológica .....	36
3.3.1 Análise da aptidão edafoclimática .....	36
3.3.2 Restrição de declividade e altitude .....	38
3.4 Resultados da aptidão agrícola da soja nas classes vegetação nativa e antrópico..	39

4. Sistema de avaliação para compensação financeira .....	51
5. Considerações finais e recomendações .....	58





# 1. INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado abrange um quarto do território nacional. É rico em biodiversidade, berço dos principais aquíferos brasileiros e reúne, ao mesmo tempo, condições favoráveis ao desenvolvimento da agricultura de larga escala. Tais características resultaram nas últimas duas décadas em um intenso processo de transformação da sua paisagem, no qual a sojicultura desempenha um importante papel.

Para melhor compreender a dinâmica da expansão da soja no Cerrado, o bioma pode ser dividido em duas grandes regiões produtoras. Uma delas abrange 2/3 do bioma, denominada-se, neste estudo, como Outros Estados, sendo composta por Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Rondônia e pelo Distrito Federal. Sua exploração intensiva para a atividade agrícola de larga escala, iniciada na década de 1960, chegou a um ponto de consolidação, embora ainda existam diversas frentes de expansão, uma vez que a região ainda dispõe de grandes extensões de terras aptas para a produção de soja atualmente ocupadas por pastagens. A outra região, formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, é o Matopiba, que ocupa 1/3 do bioma e começou a ser explorada em meados da década de 1980 – trata-se atualmente de um importante polo de produção agrícola e se destaca nos debates relacionados à produção de soja livre de desmatamento, tendo em vista possuir as mais altas taxas de desmatamento recente e também a maior proporção de áreas de vegetação nativa do bioma parcialmente aptas para o cultivo da soja.

Neste sentido, o presente estudo realiza uma análise geoespacial da dinâmica da soja no bioma Cerrado para fornecer informações detalhadas sobre a expansão dessa cultura de 2000/01 a 2018/19 – com destaque para o período mais recente (2014 a 2018). Para avaliar a pegada da soja no desmatamento do bioma, analisou-se também a contribuição da sojicultura nas mudanças de uso e cobertura da terra. Além disso, o estudo analisa amplamente a aptidão agrícola da soja e avalia espacialmente e quantitativamente as terras com alta e média aptidão edafoclimática sem restrição de declividade e altitude em áreas de vegetação nativa e em áreas antrópicas. Por fim, foi desenvolvido um sistema online para avaliar a elegibilidade de produtores rurais a um mecanismo de compensação financeira pela manutenção da vegetação nativa com autorização de supressão vegetal, com base nos seguintes requisitos: ser produtor de soja, ter área com aptidão agrícola para o cultivo da soja em excedentes de Reserva Legal com vegetação nativa preservada e atender a critérios mínimos de conformidade socioambiental.

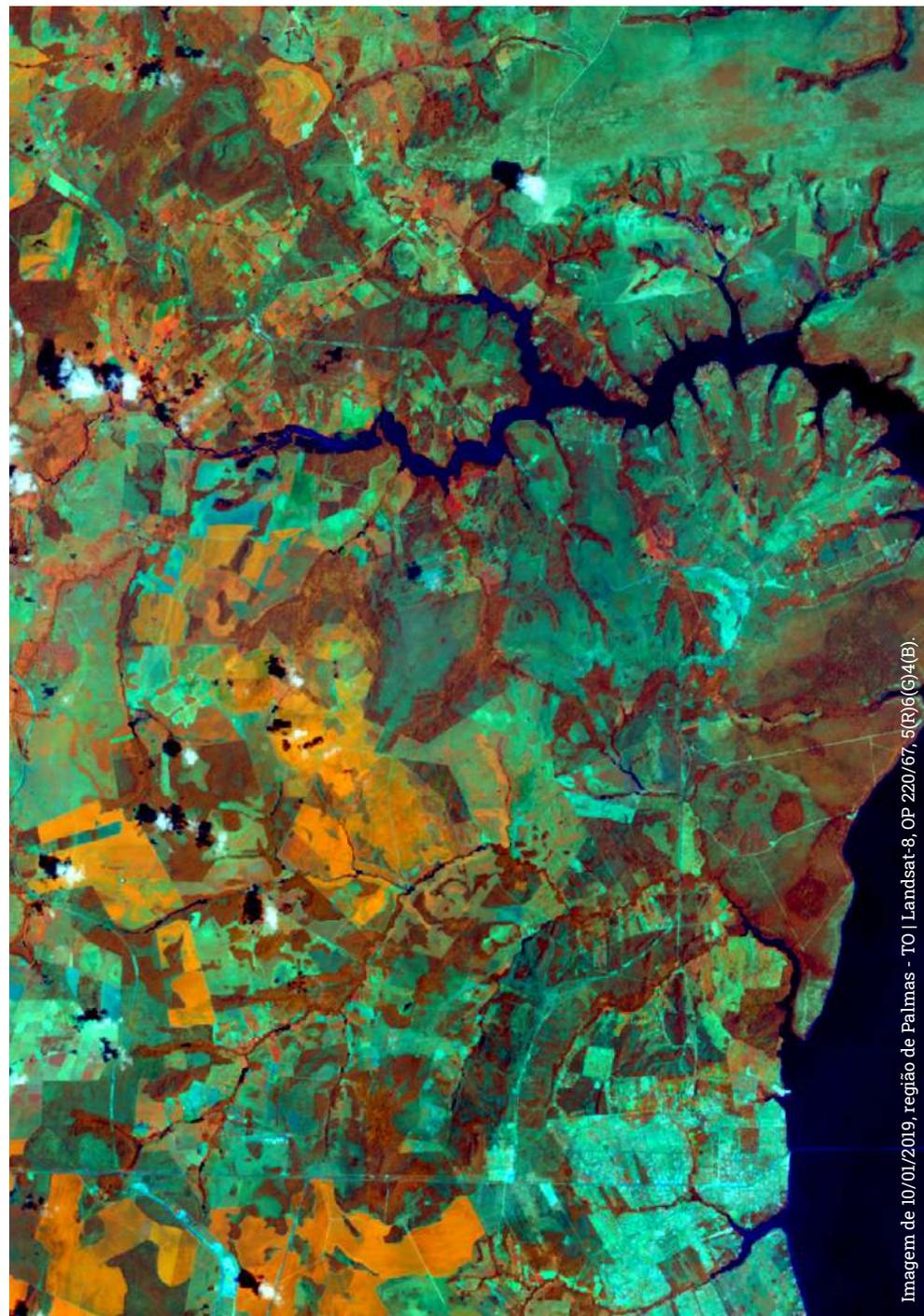


Imagem de 10/01/2019, região de Palmas - TO | Landsat-8, OP 220/67, 5(R)6(G)4(B).



## 2. DINÂMICA DA EXPANSÃO DA SOJA

## 2.1 EVOLUÇÃO DA ÁREA CULTIVADA COM SOJA

As imagens adquiridas por satélites que orbitam ao redor do nosso planeta<sup>1</sup> são uma excelente fonte de informação sobre a acelerada dinâmica da atividade agrícola e sua contribuição nas mudanças de uso e cobertura da terra. Essas imagens foram utilizadas em estudos anteriores da Agrosatélite para mapear a cultura da soja no bioma Cerrado nas safras 2000/01, 2006/07, 2013/14 e 2016/17, financiados pela Fundação Gordon & Betty Moore, ABIOVE e TNC<sup>2</sup>. No presente trabalho, elas foram utilizadas para atualizar a sequência histórica de mapeamentos para a safra 2018/19, no intuito de ampliar o entendimento sobre a recente expansão da soja no bioma Cerrado e das suas particularidades regionais. Além da distribuição espacial das lavouras, foi possível obter as estimativas de área plantada desde o nível da propriedade rural, passando por municípios e estados até o bioma como um todo<sup>3</sup>.

A Tabela 1 apresenta o resultado da área de soja no bioma Cerrado na safra 2018/19 mapeada por estado pela Agrosatélite, além de informações de estudos anteriores sobre a área plantada nas safras 2013/14 e 2016/17. Nota-se que 72,7% da soja do Cerrado está localizada nos estados de Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais.

Tabela 1. Área de soja em hectares e em percentual, por estado, na porção do bioma Cerrado, para as safras 2013/14, 2016/17 e 2018/19.

Estado	2013/2014		2016/2017		2018/2019	
	ha	%	ha	%	ha	%
DF	80.211	0,5	88.572	0,5	93.496	0,5
GO	3.472.889	22,3	3.644.519	21,4	3.954.372	21,7
MG	1.267.109	8,1	1.531.541	9,0	1.778.323	9,8
MS	1.375.051	8,8	1.652.907	9,7	1.848.181	10,2
MT	5.524.610	35,4	5.630.600	33,0	5.636.978	31,0
PR	70.952	0,5	79.499	0,5	91.831	0,5
SP	402.992	2,6	496.431	2,9	618.544	3,4
RO	0	0,0	431	0,0	489	0,0
<b>Outros Estados</b>	<b>12.193.814</b>	<b>78,2</b>	<b>13.124.500</b>	<b>76,9</b>	<b>14.022.214</b>	<b>77,0</b>
MA	680.550	4,4	748.482	4,4	816.521	4,5
TO	675.835	4,3	914.009	5,4	1.018.243	5,6
PI	617.219	4,0	653.375	3,8	718.304	3,9
BA	1.433.741	9,2	1.627.367	9,5	1.629.217	8,9
<b>Matopiba</b>	<b>3.407.345</b>	<b>21,8</b>	<b>3.943.233</b>	<b>23,1</b>	<b>4.182.285</b>	<b>23,0</b>
<b>Bioma Cerrado</b>	<b>15.601.159</b>	<b>100,0</b>	<b>17.067.733</b>	<b>100,0</b>	<b>18.204.499</b>	<b>100,0</b>

1 Neste estudo foram utilizadas imagens adquiridas pelos satélites das séries Landsat e Sentinel-2 em comprimentos de onda do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio do espectro eletromagnético, com resolução espacial entre 10 e 30 metros (~100 a 10 pixels por hectare). A operação conjunta desses satélites permite que uma mesma localidade seja revisitada em intervalos de 2 a 5 dias, o que favorece a obtenção de imagens livres de nuvens durante o período favorável de identificação das lavouras de soja. Cerca de 3.150 imagens estiveram disponíveis para identificar, de forma precisa, as lavouras de soja do bioma Cerrado no ano-safra 2018/19 por meio de técnicas de interpretação visual de imagens. O ponto de partida foi o mapa de soja da safra 2016/17. O procedimento de interpretação visual considerou também a análise da série temporal de imagens obtidas pelo sensor MODIS, transformada no índice de vegetação EVI (Enhanced Vegetation Index) na forma de composições temporais de 16 dias por meio de consultas ao aplicativo web do projeto SatVeg da EMBRAPA ([www.satveg.cnptia.embrapa.br](http://www.satveg.cnptia.embrapa.br)). Foram utilizadas as seguintes composições coloridas RGB das imagens: bandas 4-5-3 para o sensor ETM+/Landsat-7; bandas 5-6-4 para o sensor OLI/Landsat-8; e bandas 8a-11-4 para o sensor MSI do Sentinel-2. Cabe destacar que o mapeamento de soja da safra 2016/17, elaborado pela Agrosatélite, foi validado por terceira parte (Universidade de Maryland), com base em dados obtidos a campo, constatando uma exatidão global do mapeamento de 98,4%.

2 Relatórios disponíveis para consulta pública em <https://agrosatelite.com.br/cases/#expansao-agricola>.

3 O limite do bioma Cerrado utilizado no presente estudo foi do IBGE na escala 1:5.000.000 (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15842-biomas.html>)

As Figuras 1 a 5 ilustram os mapas da cultura da soja no Cerrado em cinco anos-safra (2000/01, 2006/07, 2013/14, 2016/17 e 2018/19). Destacam-se em cada um deles quatro recortes de regiões menos consolidadas nas quais a sojicultura adquiriu relevância do ano 2000 em diante. É o caso, no recorte I, do município de Paranatinga (MT), em que a área de soja no bioma passou de 32 mil ha em 2006/07 para 156 mil ha em 2013/14, um crescimento de quase cinco vezes em oito anos. Desde então, a expansão desacelerou e chegou a 174 mil ha em 2018/19. As regiões do entorno de Balsas, no Maranhão, e de Baixa do Rio Grande, no Piauí (ambas no recorte II), assim como as do entorno de Barreiras, na Bahia (no recorte III) e as do entorno de Porto Nacional, no Tocantins (recorte IV) também se destacam pela intensa expansão da sojicultura, cuja área cresceu de 4 a 5 vezes em menos de 20 anos – todas fazem parte dessa nova e importante fronteira agrícola do Brasil denominada Matopiba.



Figura 1. Mapa da cultura da soja no Cerrado para o ano-safra 2000/01, destacando recortes de regiões que apresentaram significativa expansão da sojicultura de 2000/01 a 2018/19.

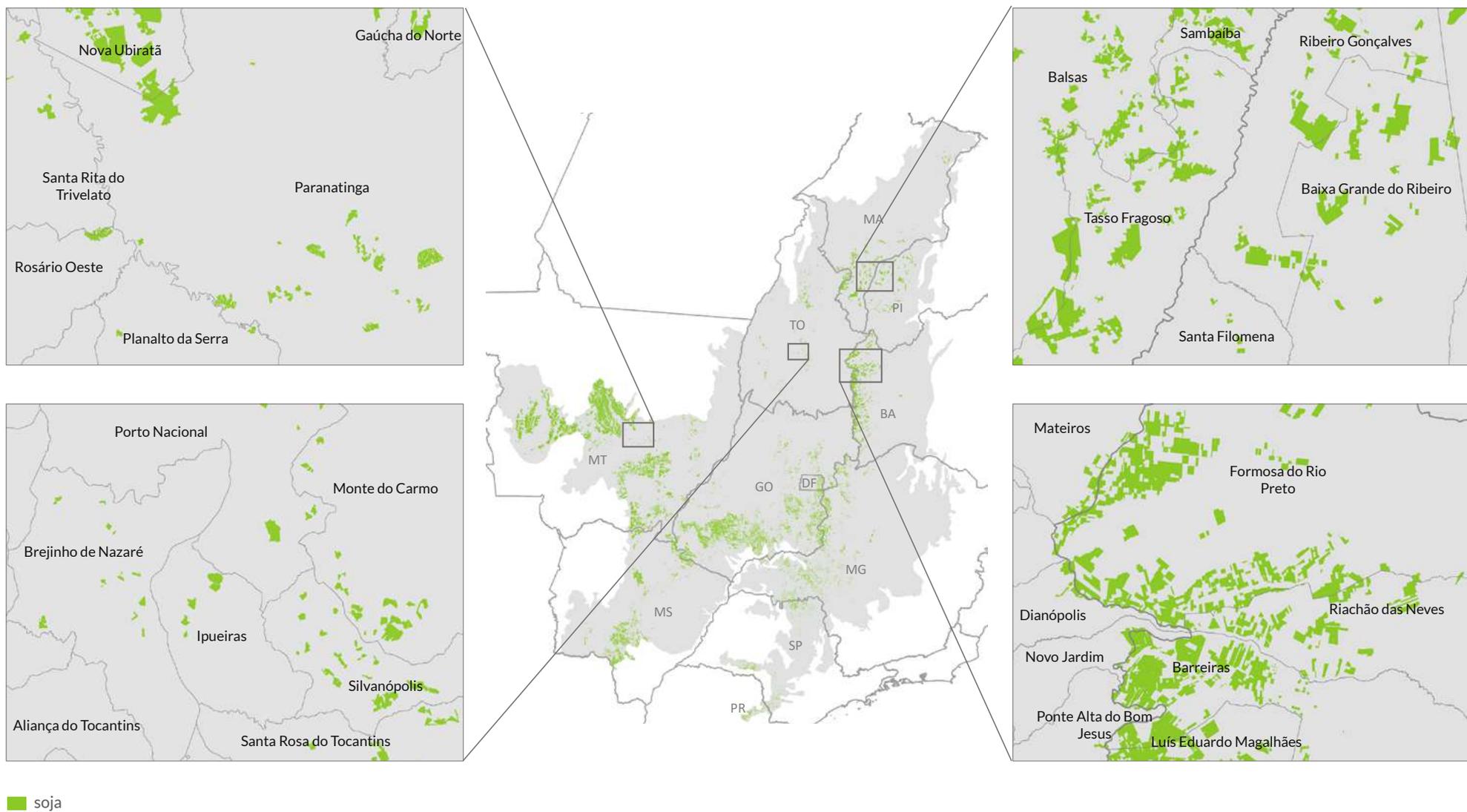


Figura 2. Mapa da cultura da soja no Cerrado para o ano-safra 2006/07, destacando recortes de regiões que apresentaram significativa expansão da sojicultura de 2000/01 a 2018/19.

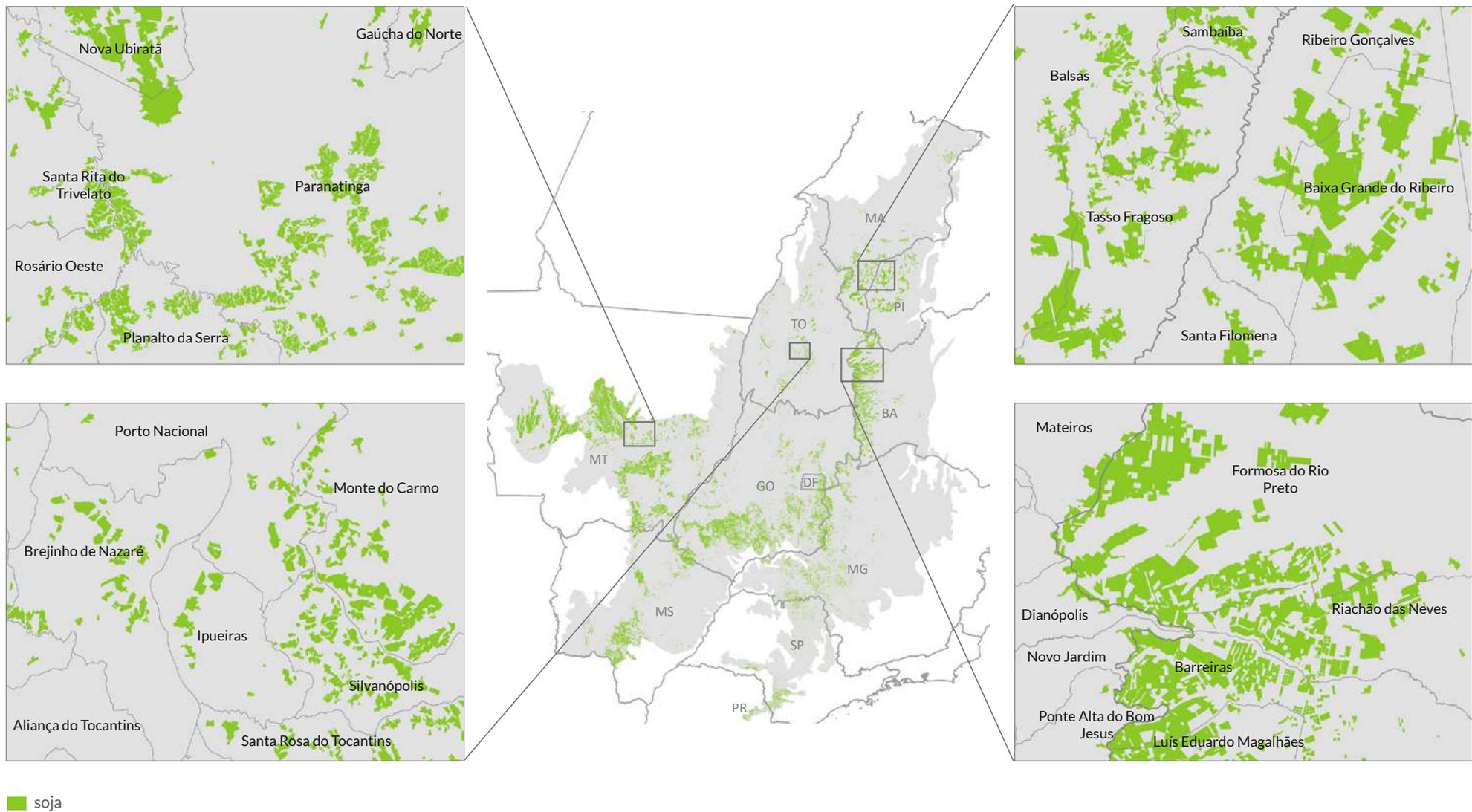


Figura 3. Mapa da cultura da soja no Cerrado para o ano-safra 2013/14, destacando recortes de regiões que apresentaram significativa expansão da sojicultura de 2000/01 a 2018/19.

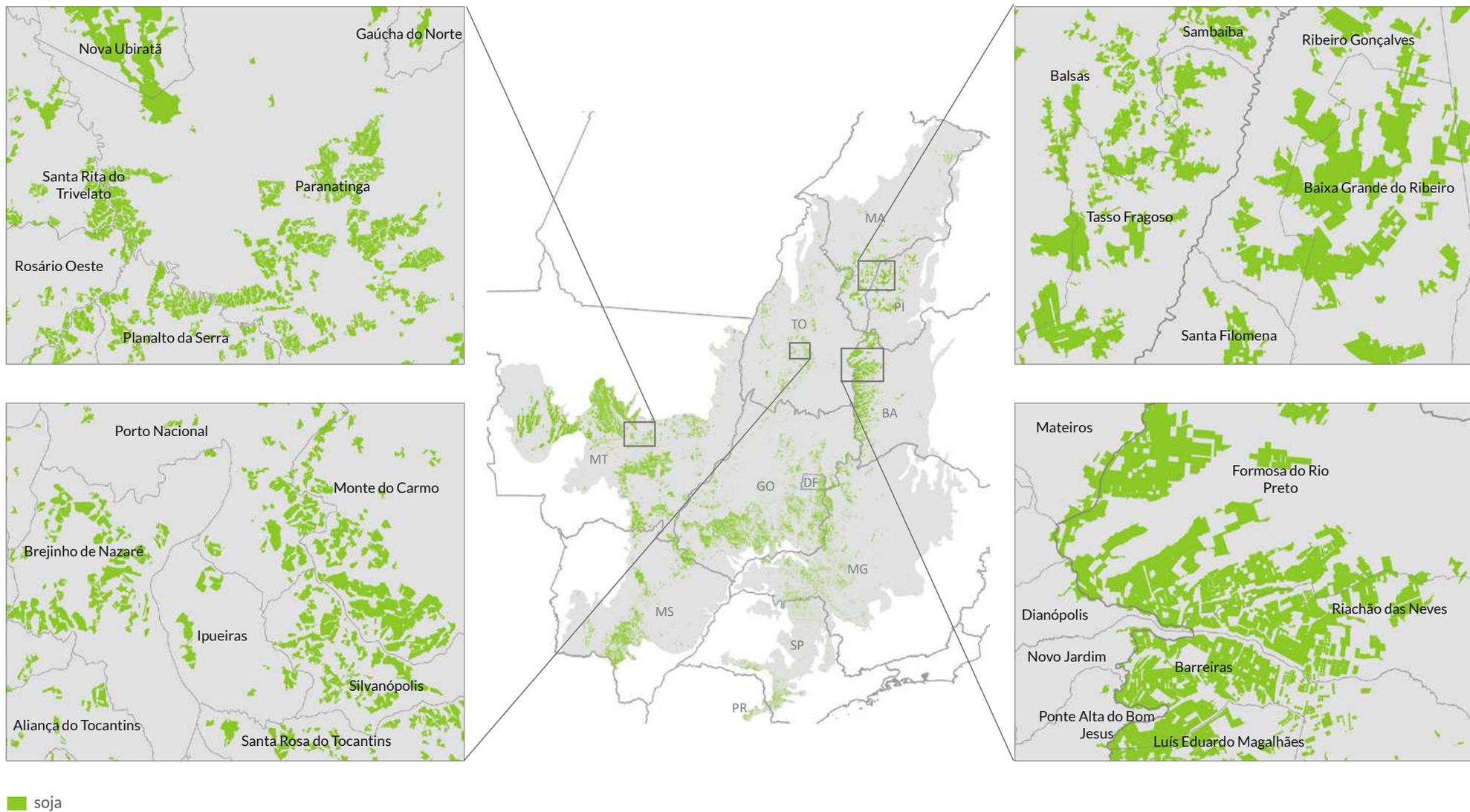


Figura 4. Mapa da cultura da soja no Cerrado para o ano-safra 2016/17, destacando recortes de regiões que apresentaram significativa expansão da sojicultura de 2000/01 a 2018/19.

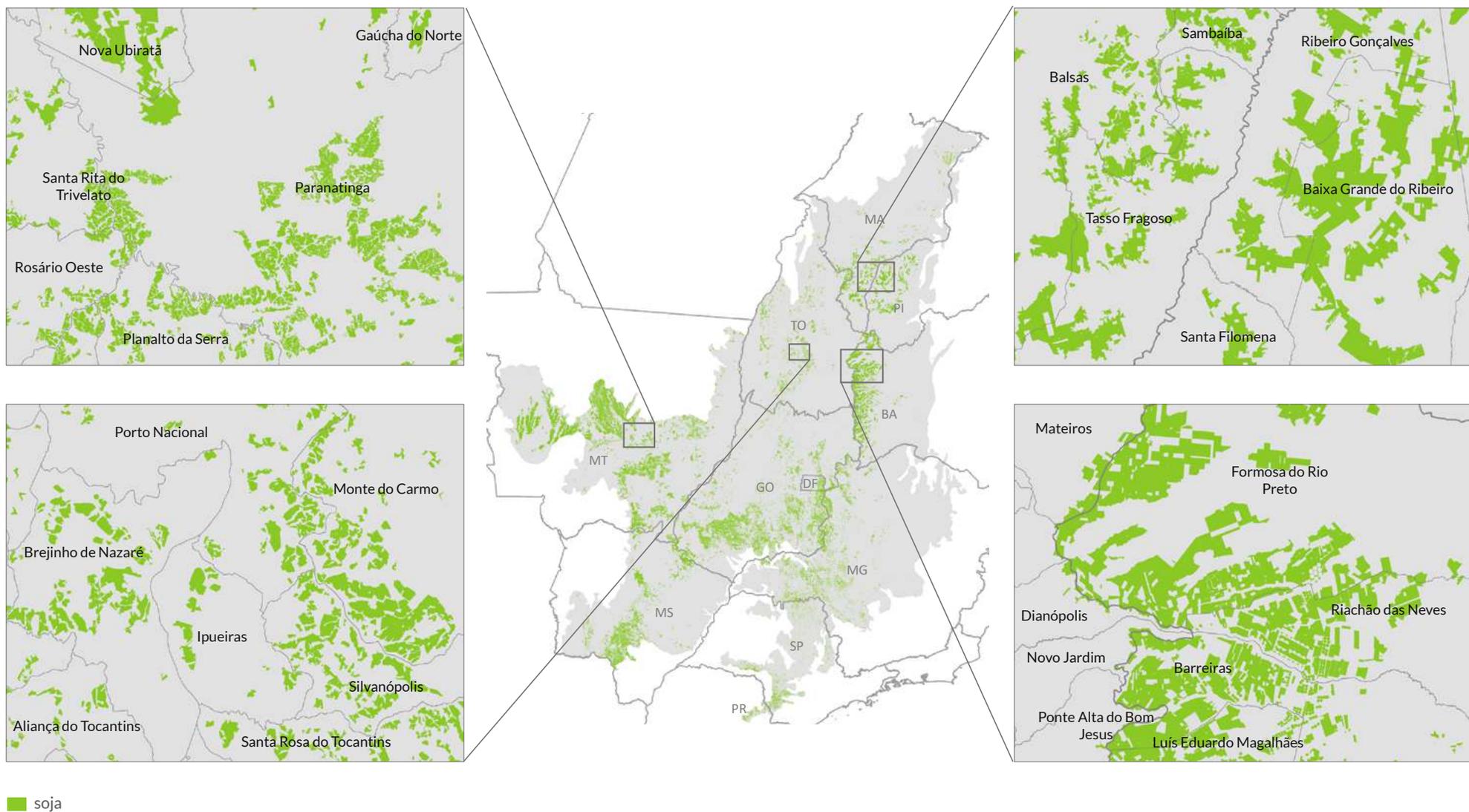


Figura 5. Mapa da cultura da soja no Cerrado para o ano-safra 2018/19, destacando recortes de regiões que apresentaram significativa expansão da sojicultura de 2000/01 a 2018/19.

A Figura 6 apresenta os valores da área de soja para os Outros Estados<sup>4</sup> e para o Matopiba<sup>5</sup> nos mesmos cinco anos-safra apresentados nas Figuras 1-5. Em 18 safras, a área de soja no Cerrado cresceu 2,4 vezes, passando de 7,53 Mha em 2000/01 para 18,20 Mha em 2018/19, representando atualmente 51% da área nacional de soja<sup>6</sup>. No mesmo período, a área de soja no Matopiba aumentou 4,3 vezes, passando de 0,97 para 4,18 Mha—a participação da região na área de soja do Cerrado passou de 13% para 23%. Os Outros Estados respondem pelos 77% restantes da área de soja do bioma, com um crescimento de 7,46 Mha (113%) de 2000/01 a 2018/19.

Em média, a taxa anual de expansão de soja no Cerrado foi de 0,59 Mha, dos quais 0,41 Mha/ano nos Outros Estados e 0,18 Mha/ano no Matopiba. No período mais recente (2016/17 a 2018/19), esta taxa de expansão caiu para 0,57 Mha/ano –ligeiramente inferior à média de 2001 a 2019. A desaceleração é puxada pelo Matopiba: o incremento de área na região caiu, nas últimas duas safras, para 0,12 Mha anuais, 33% abaixo da média de todo o período. Isso mais do que compensou uma aceleração de 10% no crescimento de área nos Outros Estados, que subiu para 0,45 Mha/ano de 2016/17 a 2018/19.

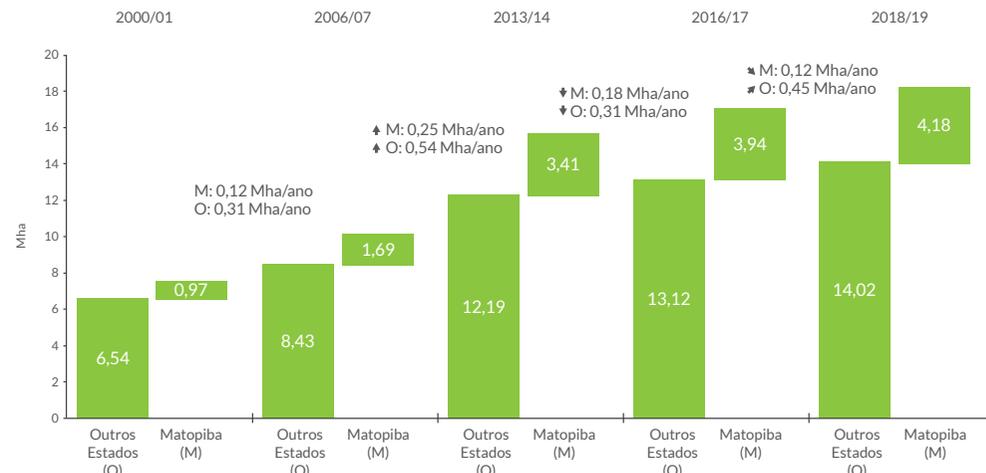


Figura 6. Evolução da área de soja entre as safras 2000/01 e 2018/19 nos Outros Estados e no Matopiba, e as taxas anuais de incremento de área observadas em quatro períodos: 2000/01 a 2006/07; 2006/07 a 2013/14; 2013/14 a 2016/17; e 2016/17 a 2018/19.

Uma análise com base nos dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR)<sup>7</sup> revelou que 94,7% (17,2 Mha) da área de soja da safra 2018/19 foi cultivada em 121.893 imóveis, enquanto os 5,7% (0,97 Mha) restantes foi cultivada em imóveis sem CAR, com 0,75 Mha nos Outros Estados e 0,22 Mha no Matopiba.

A Tabela 2 apresenta o resultado da análise das áreas de soja da safra 2018/19 fora e dentro de Áreas Especiais. Nota-se que 93,5% da área de soja do bioma se encontra fora dessas Áreas Especiais. Se delas forem subtraídas as Áreas de Proteção Ambiental (APA)<sup>8</sup> e os assentamentos (ASS), nos quais a atividade agrícola é permitida, essa porção chega a 97,9%. O cultivo de soja em APA é a mais relevante, com 372 mil ha no Matopiba e 262 mil ha nos Outros Estados, correspondendo a 3,5% da soja do bioma. Em segundo lugar está a soja cultivada na Reserva Legal (RL) e nas Áreas de Proteção Permanente (APP), declara-

4 Neste estudo, o termo Outros Estados se refere aos estados do bioma Cerrado que não fazem parte do Matopiba. São eles: Goiás - GO, Minas Gerais - MG, Mato Grosso do Sul - MS, Mato Grosso - MT, São Paulo - SP, Paraná - PR e Rondônia - RO, além do Distrito Federal - DF.

5 O Matopiba é uma região formada pelos estados do Maranhão - MA, Tocantins - TO, Piauí - PI e Bahia - BA, essencialmente nas suas porções do bioma Cerrado e nas transições com o bioma Amazônia, onde vem ocorrendo uma intensa transformação da paisagem causada pela expansão da agricultura anual de alta tecnologia. A pequena porção do Matopiba contida no bioma Amazônia não faz parte desse estudo.

6 CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira – Grãos. V. 6. Safra 2018/19, n. 12, setembro 2019. Brasília, 47 p. 2019.

7 Os dados do SICAR Federal utilizados neste trabalho foram obtidos na plataforma do Serviço Florestal em: <http://www.car.gov.br/#>, conforme atualização de 18/02/2020. Para maximizar a cobertura de propriedades declaradas no CAR e devido à impossibilidade de considerar informações sobre a validação do CAR, que ainda é incipiente, todos os imóveis disponíveis na Base do SICAR Federal foram considerados.

8 O cultivo de culturas agrícolas como a soja não está restrito nas APAs, embora essas áreas façam parte do conjunto de Unidades de Conservação de Uso Sustentável do SNUC. A atividade agrícola, porém, deve seguir cuidados e orientações, conforme plano de manejo de cada APA.

das no CAR<sup>9</sup>, com 343 mil ha (1,9%) – essa parcela é mais expressiva nos Outros Estados, onde o grau de antropização é maior. Tais casos se tratam, em geral, de RL declaradas, que em grande parte ainda passarão por validação pelas Secretarias Estaduais de Meio Ambiente para que os Planos de Recuperação Ambiental (PRAs) sejam implantados e as áreas recuperadas.

A soja em assentamentos está quase toda nos Outros Estados, concentrada em poucas áreas. Já nas demais Áreas Especiais, que compõem o conjunto de Áreas Protegidas (Terras Indígenas, Quilombolas, Unidades de Conservação de Proteção Integral, Unidades de Conservação de Uso Sustentável, exceto APAs, e nas sobreposições entre elas), onde as regras para o cultivo de soja são restritivas, a área é inferior a 0,3%.

Tabela 2. Área de soja da safra 2018/19 fora e dentro de Áreas Especiais nos Outros Estados, no Matopiba e no bioma Cerrado.

Estado	Outros Estados		Matopiba		Bioma Cerrado		
	ha	%	ha	%	ha	%	
FORA DE ÁREAS ESPECIAIS	13.304.510	94,9	3.711.461	88,7	17.015.971	93,5	
EM ÁREAS ESPECIAIS <sup>10</sup>	TI	30.833	0,2	4.576	0,1	35.409	0,2
	QUIL	2.458	0,0	268	0,0	2.726	0,0
	UC_PI	1.938	0,0	4.329	0,1	6.266	0,0
	UC_US	30	0,0	5.416	0,1	5.446	0,0
	Sobrep. TI-QUIL-UC_PI-UC_US	666	0,0	2.375	0,1	3.041	0,0
	APP_RL-CAR	274.621	2,0	68.836	1,6	343.457	1,9
	UC_APA	261.814	1,9	371.907	8,9	633.721	3,5
	ASS	144.645	1,0	13.003	0,3	157.649	0,9
	Sobrep. ASS-UC_APA	813	0,0	147	0,0	960	0,0
	<b>TOTAL</b>	<b>14.022.328</b>	<b>100,0</b>	<b>4.182.318</b>	<b>100,0</b>	<b>18.204.646</b>	<b>100,0</b>

9 Os dados do SICAR Federal utilizados neste trabalho foram obtidos na plataforma do Serviço Florestal em: <http://www.car.gov.br/#>, conforme atualização de 18/02/2020. Para maximizar a cobertura de propriedades declaradas no CAR e devido à impossibilidade de considerar informações sobre a validação do CAR, que ainda é incipiente, todos os imóveis disponíveis na Base do SICAR Federal foram considerados.

10 Áreas Especiais: TI - Terras Indígenas; QUIL - Territórios Quilombolas; UC\_PI - Unidades de Conservação de Proteção Integral; UC\_US - Unidades de Conservação de Uso Sustentável, exceto APAs; Sobrep. TI-QUIL-UC\_PI-UC\_US - Sobreposições envolvendo essas áreas especiais; APP\_RL-CAR - Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal, declaradas no Cadastro Ambiental Rural; UC\_APA - Unidade de Conservação de Uso Sustentável do tipo Áreas de Proteção Ambiental - APA; ASS - Assentamentos; Sobrep. ASS-UC\_APA - Sobreposições exclusivas entre essas áreas especiais.

## 2.2 TOTAL DE DESMATAMENTO NO CERRADO

A Figura 7 apresenta os totais das taxas anuais de desmatamento estimadas pelo PRODES-Cerrado de 2001 a 2019 para o bioma Cerrado. Tais taxas, que eram de aproximadamente 3,0 Mha/ano no início da 1ª década deste milênio, caíram nos últimos quatro anos a menos de um quarto, para cerca de 0,7 Mha/ano. A redução foi mais acentuada nos Outros Estados. A região respondia, no início do milênio, por dois terços dos desmatamentos do bioma. Nos últimos anos, a situação regional se inverteu e o Matopiba passou a responder por dois terços dos desmatamentos, embora represente apenas um terço do território do Cerrado.

A Figura 7 apresenta também a área total desmatada no bioma de 2001 a 2018 (27,7 Mha) e nos três períodos analisados no presente estudo. Foram desmatados 15,4 Mha no 1º Período (2001 a 2006), 8,0 Mha no 2º (2007 a 2013) e 4,3 Mha no 3º (2014 a 2018).

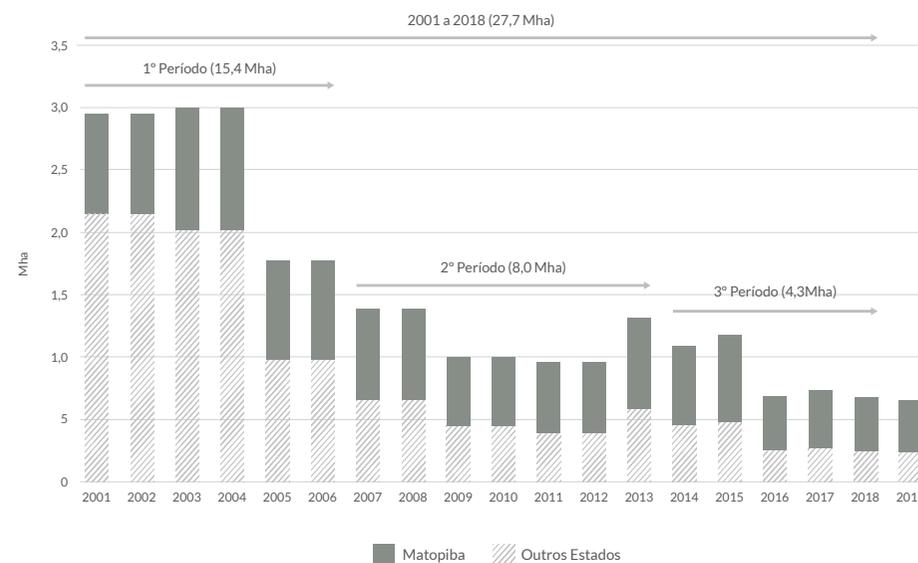


Figura 7. Taxas anuais de desmatamento no bioma Cerrado de 2001 a 2019, com destaque para o total de desmatamento ocorrido em três períodos compreendidos na análise deste estudo.

## 2.3 MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA ATRIBUÍDA À SOJA

A mudança de uso da terra causada pela dinâmica da expansão da soja no bioma Cerrado foi analisada considerando a seguinte classificação: 1) mudança da cobertura de vegetação nativa para soja, aqui denominada de expansão com desmatamento<sup>11</sup> e 2) mudança de uso da terra para soja, aqui considerada como expansão sem desmatamento<sup>12</sup>. Resta uma terceira classe, a das áreas de retração<sup>13</sup>, constituída de terras em que houve cultivo de soja e posteriormente foram destinadas a outros usos de forma temporária ou permanente.

Essa classificação considera tanto a disponibilidade dos mapeamentos da soja em determinados anos-safra, conforme estudos prévios da Agrosatélite, quanto o número de anos em cada período. O foco principal dessa análise consiste em avaliar as tendências de expansão da soja com desmatamento ao longo do tempo. A abrangência de cada período analisado deve ser, portanto, longo o suficiente para captar efetivamente a mudança de uso e cobertura da terra ocasionada pela expansão da cultura, mas ao mesmo tempo curto o bastante para retratar as variações e tendências no padrão da mudança de uso e cobertura da terra ao longo dos 18 anos safra analisados.

A análise da expansão com desmatamento das áreas de soja em 2018/19 foi realizada por

<sup>11</sup> Expansão com desmatamento corresponde à mudança de cobertura da terra ocasionada pelo desmatamento de áreas de vegetação nativa do Cerrado (independentemente da fitofisionomia) no início de cada período, convertidas para soja até o final do mesmo período.

<sup>12</sup> Expansão sem desmatamento corresponde à mudança de uso da terra ocasionada pela expansão da soja em áreas com outros usos no início de cada período e que foram convertidas para soja até o final do mesmo período. Por exemplo, área de pastagem convertida para soja consiste na intensificação de uso da terra, situação que ocorre com frequência nos Outros Estados, onde se encontram muitas áreas de pastagens com elevada aptidão agrícola para soja. Exemplos de outros usos no início de cada período são os seguintes: a) áreas em rotação com culturas anuais (p.ex. algodão e milho 1ª safra); b) áreas em pousio; e c) áreas de cana-de-açúcar em processo de renovação.

<sup>13</sup> Retração são as áreas de soja no início de cada período que passaram para outros usos no final do período. Tratam-se, por exemplo, de a) áreas em rotação com outras culturas anuais (como algodão e milho 1ª safra); b) áreas em pousio; c) áreas que voltaram a ser cana-de-açúcar por conta do processo de renovação dos canaviais; e d) áreas que efetivamente deixaram de ser soja por questão de abandono ou mudança de uso propriamente dita, como ocorreu na primeira década deste milênio por conta da larga expansão da cana-de-açúcar na região Centro-Sul (<https://www.mdpi.com/2072-4292/2/1/290>).

meio do cruzamento com as bases dos mapas de desmatamento dos anos de 2014 a 2018 do PRODES-Cerrado<sup>14</sup>, adotando o procedimento relatado em Agrosatélite (2018)<sup>15</sup>.

### 2.3.1 DINÂMICA DA EXPANSÃO DA SOJA COM E SEM DESMATAMENTO

De 2001 a 2018, foram desflorestados no bioma Cerrado 27,7 Mha (Figura 7). Desse total, a soja ocupou 3,5 Mha na safra 2018/19, uma conversão, direta ou indireta, de 12,6% do desmatamento ocorrido nos últimos 18 anos. Dito de outro modo: 87,4% dos desmatamentos não foram ocupados pela soja, mas destinados a outros usos. Significa, portanto, que 80,8% da área de soja no Cerrado – o equivalente a 14,7 Mha – estão livres de desmatamentos ocorridos a partir de 2001.

Para melhor captar a contribuição direta da soja nos desmatamentos ocorridos desde 2001, a análise da expansão da soja com desmatamento foi realizada em três períodos de seis, sete e cinco safras, respectivamente, conforme indicado na Figura 7. A definição desses períodos também levou em consideração a disponibilidade de mapas da soja em anos específicos (2001 a 2006, 2007 a 2013 e 2014 a 2018), seguindo a metodologia de estudos prévios da Agrosatélite (2015)<sup>14</sup>.

A soma dos desmatamentos convertidos para soja nos três períodos (Figura 8) foi de 3,0 Mha, ou seja, foi contabilizado 86% da área total desmatada após 2001 convertida para soja na análise fracionada. Isso sugere que o número de anos de cada período representa adequadamente o tempo envolvido no processo de conversão de desmatamento para soja. Os desmatamentos mais antigos, que passam por usos transitórios antes da conversão para soja (pastagem, por exemplo), foram contabilizados como expansão sem desmatamento, embora tenham ocorrido no período posterior a 2001.

Ao analisar a expansão da soja nos três períodos, observa-se uma tendência de queda na parcela da expansão de soja realizada sobre área desmatada no bioma Cerrado, conforme ilustra a Figura 8. Mesmo no Matopiba, onde a fração da expansão da soja com desmata-

<sup>14</sup> O PRODES, realizado anualmente, mapeia os desmatamentos que ocorrem de agosto do ano anterior a julho do ano corrente. O PRODES-2014, por exemplo, mapeia os desmatamentos ocorridos de agosto de 2013 a julho de 2014.

<sup>15</sup> Relatório disponível para consulta pública em: <https://agrosatelite.com.br/cases/#expansao-agricola>.

mento foi bastante significativa nos dois primeiros períodos (62% de 2001 a 2006 e 52% de 2007 a 2013; Figura 8), houve uma queda expressiva no 3º Período (18,9%; Figura 8).

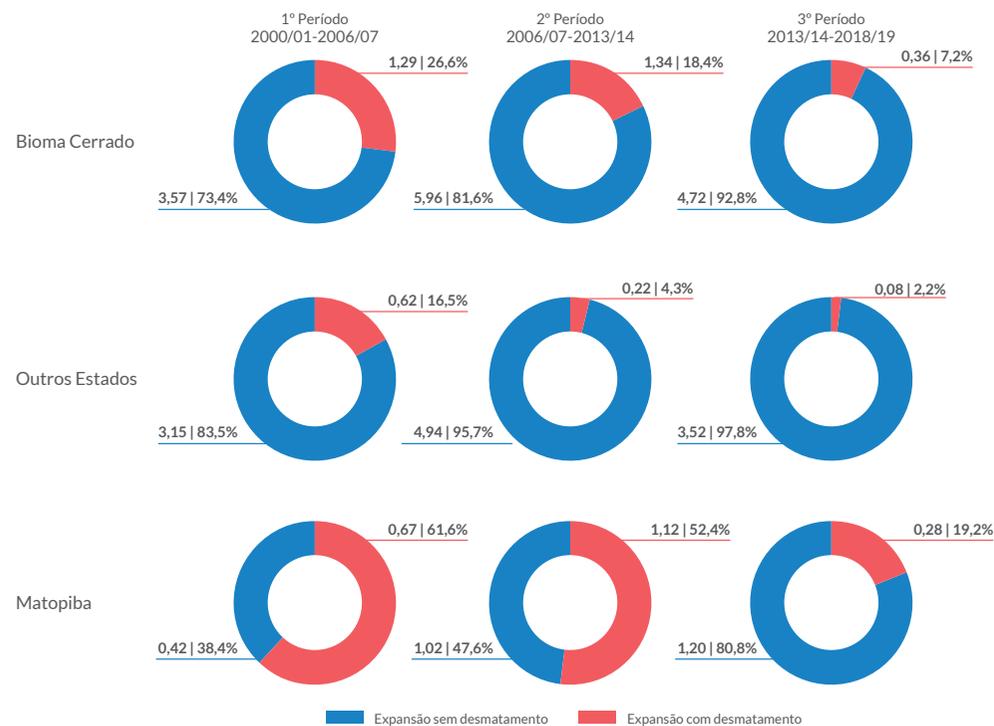


Figura 8. Área de expansão da soja (Mha) indicando as parcelas que expandiram com e sem desmatamento no bioma Cerrado, nos Outros Estados e no Matopiba em três períodos de 2000/01 a 2018/19.

Enquanto a Figura 8 apresenta os valores da área de soja que expandiu com e sem desmatamento em cada período analisado, a Figura 9 apresenta o total desmatado no Cerrado de 2014 a 2018 e a parcela dessa área convertida para a soja até a safra 2018/19. Nesse período, no qual as taxas de desmatamento caíram em relação aos dois períodos anteriores, a contribuição da expansão da soja com desmatamento também foi a menor (0,36 Mha, o equivalente a 8,2%). Ainda nesse período, foram desmatados 2,67 Mha no Matopiba, sendo que 0,28 Mha (10,6%) acabaram convertidos para soja. Nos Outros Estados, a área desmatada foi de 1,76 Mha, com 0,08 Mha (4,5%) convertidos para soja (Figura 9). Cabe ressaltar que uma parcela dos desmatamentos ocorridos de 2014 a 2018 não convertidos

para soja na safra 2018/19 poderão sê-lo em safras futuras.

Dentre os estados que compõem o Matopiba, o Tocantins apresentou a maior área de soja sobre desmatamentos (97 mil ha), seguido do Maranhão (77 mil ha), Piauí (56 mil ha) e Bahia (55 mil ha) (Figura 9). Tocantins também é recordista em desmatamentos totais no período de 2014 a 2018, superando a marca de 1,0 Mha. Nos Outros Estados, a maior área de soja sobre desmatamentos coube ao Mato Grosso (38 mil ha), seguido de Goiás (23 mil ha). Os dois estados representam juntos 76,9% da área de soja sobre desmatamentos nessa região no período analisado (Figura 9).

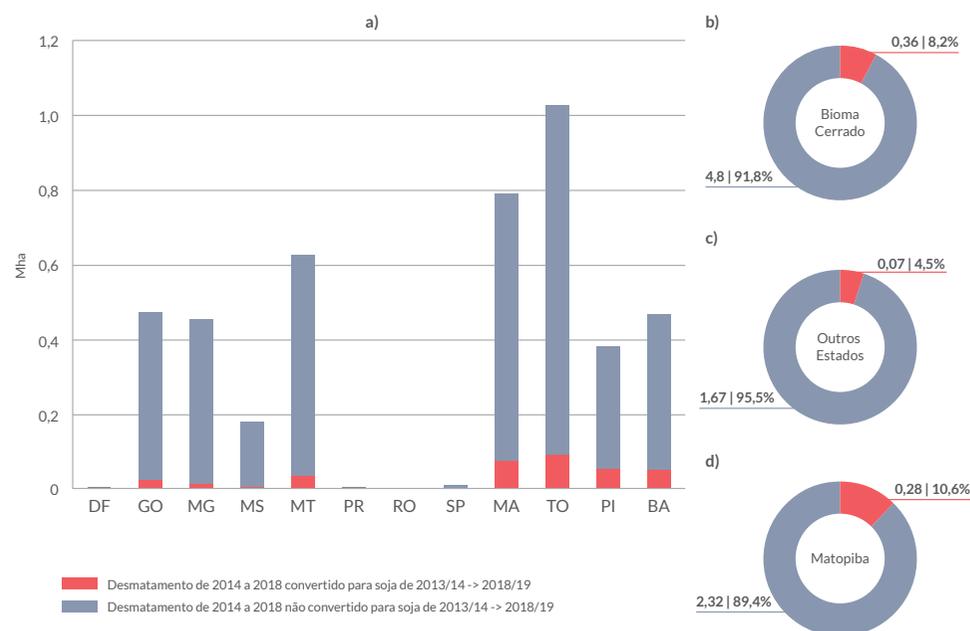


Figura 9. Total de desmatamento de 2014 a 2018 (PRODES-Cerrado/INPE) e parcela de soja na safra 2018/19 sobre esse desmatamento para: a) estados em sua porção contida no bioma Cerrado; b) bioma Cerrado; c) Outros Estados; e d) Matopiba.

## 2.3.2 DINÂMICA DA MUDANÇA DE USO E COBERTURA 2000/01 A 2018/19

A Figura 10 apresenta o resultado da dinâmica da mudança de uso e cobertura da terra no processo de expansão e retração da soja nos Outros Estados e no Matopiba, tanto para o período de 5 anos entre as safras 2013/14 e 2018/19 (resultado desse estudo), quanto para dois períodos anteriores – de 6 anos entre as safras 2000/01 e 2006/07 e de 7 anos entre as safras 2006/07 e 2013/14 (Agrosatélite, 2015; 2018)<sup>16</sup>.

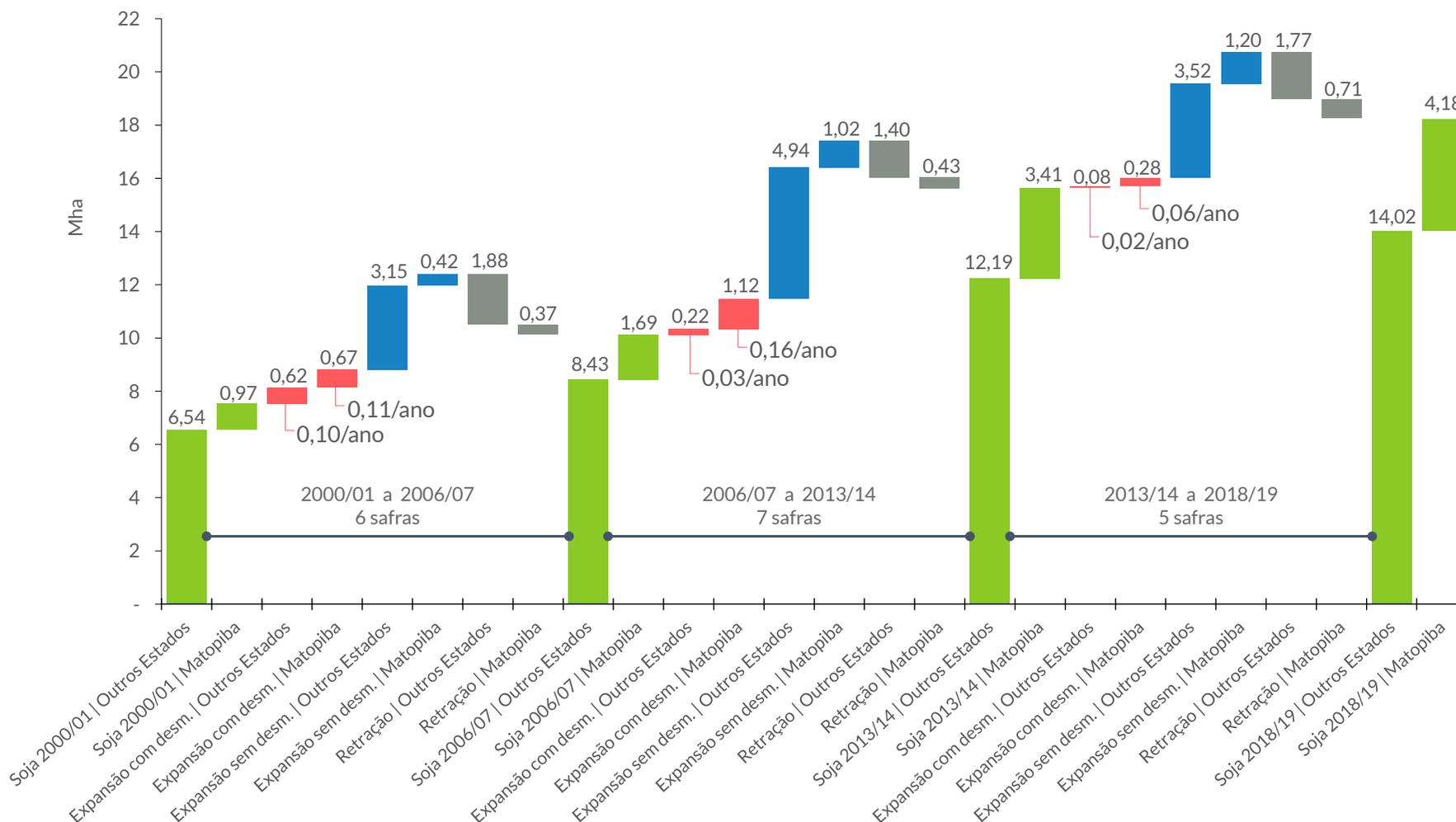


Figura 10. Mudança de uso e cobertura da terra envolvida no processo de expansão e retração da soja nos Outros Estados e no Matopiba em três períodos: 1º de 2000/01 a 2006/07; 2º de 2006/07 a 2013/14; e 3º de 2013/14 a 2018/19. Na parte inferior das barras de expansão com desmatamento (laranja) está o valor da taxa anual de conversão de vegetação nativa para soja.

A presença relativa da soja no Matopiba é significativamente inferior à dos Outros Estados, mas vem crescendo ao longo do tempo. Conforme visto anteriormente (item 2.1), a participação da região na área dedicada à sojicultura no bioma Cerrado saiu de 13% da em 2000/01 para 23% em 2018/19. Apesar desse crescimento, a taxa média de conversão de vegetação nativa para soja, que chegou a 161 mil ha/ano de 2006/07 a 2013/14, caiu para 57 mil ha/ano no período mais recente (2013/14 a 2018/19). Já nos Outros Estados, a taxa média de conversão vem reduzindo gradativamente, chegando a 16 mil ha/ano no período mais recente (Figura 11).

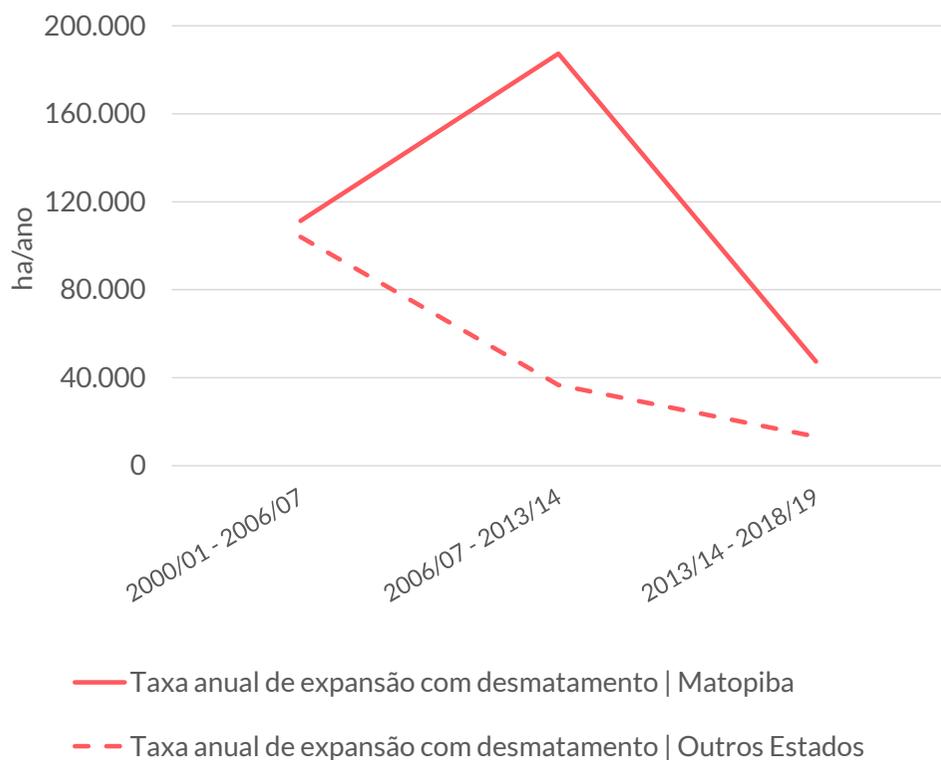


Figura 11. Taxa média anual de conversão de vegetação nativa para soja em cada um dos três períodos analisados.

### 2.3.2.1 DETALHAMENTO DA DINÂMICA DE EXPANSÃO E RETRAÇÃO | 2013/14 A 2018/19

As Figuras 12 a 20 apresentam recortes de diferentes partes do bioma Cerrado visando ilustrar, em mapas, tanto a distribuição espacial da área cultivada com soja quanto as expansões de soja com e sem desmatamento, além daquelas que sofreram retração no período de 2013/14 a 2018/19<sup>17</sup>. Nessas figuras, as expansões de soja sem desmatamento sobre pastagem, pousio e outros estão em azul sem hachura – e estão em azul com hachura quando ocorreram sobre milho ou algodão 1ª safra ou cana. Já as áreas de soja que sofreram retração estão em cinza sem hachura quando passaram para pousio ou outros usos, e com hachura quando passaram a rotacionar com milho ou algodão 1ª safra ou cana.



<sup>17</sup> Para quantificar a dinâmica da expansão-retração da soja, foram utilizadas imagens de satélite para avaliar a área de soja da safra 2018/19 que expandiu sem desmatamento em 2013/14, separando-as em: a) culturas agrícolas (milho e algodão 1ª safra e cana); b) pousio ou outros usos; e c) pastagem (Áreas de Pastagens do Brasil, 2014, base LAPIG/MapBiomias). Ainda com base nas imagens de satélite, foi avaliada a área de soja da safra 2013/14 que sofreu retração devida à rotação de culturas ou então deixou de ser cultivada com soja na safra 2018/19 (pousio ou outros usos).

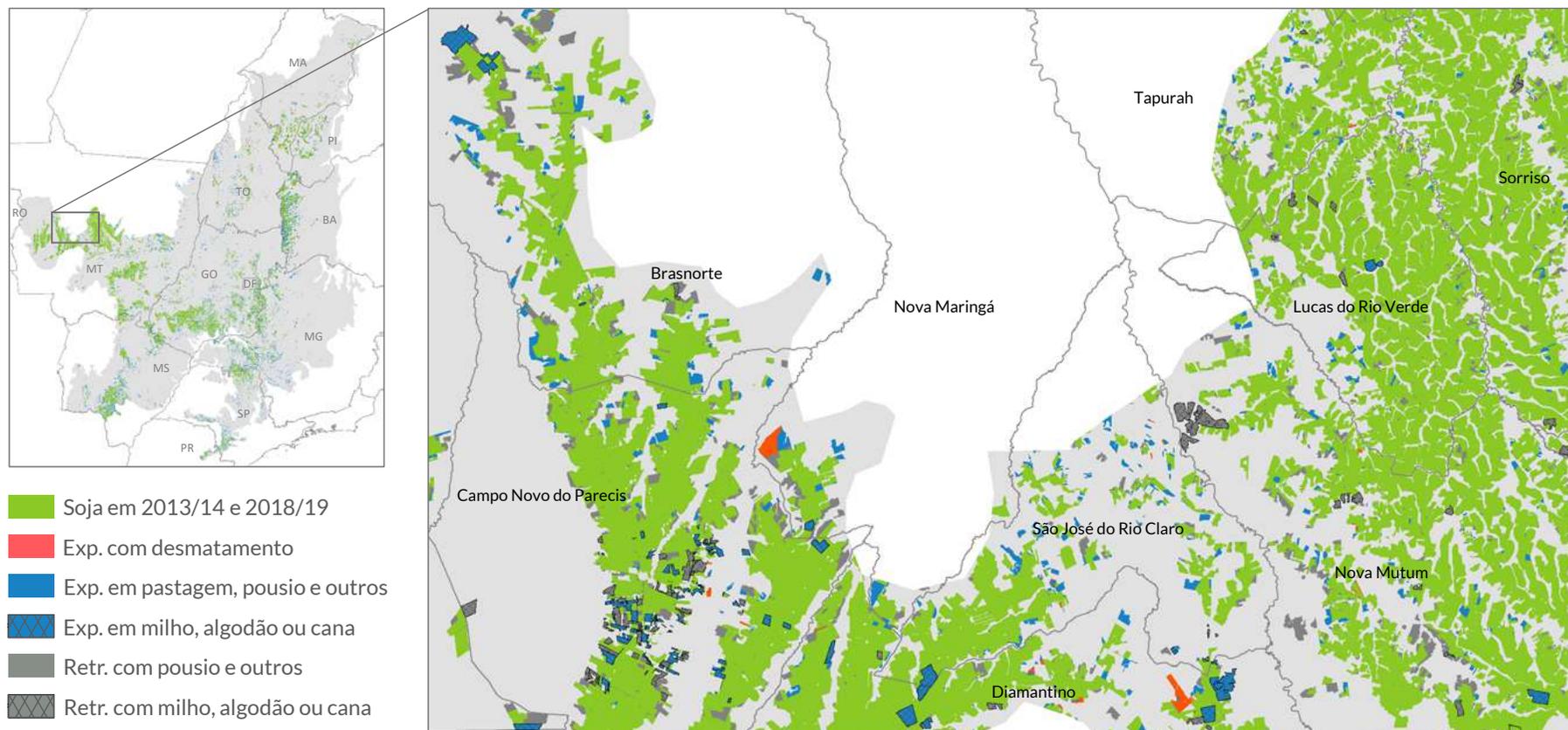


Figura 12. Dinâmica territorial da soja de 2013/14 a 2018/19 no Centro-Oeste de Mato Grosso onde a sojicultura está bem consolidada, com pouca dinâmica de expansão. Há, contudo, algumas áreas de retração mais próximas das bordas da Chapada do Parecis em Campo Novo dos Parecis e em Nova Mutum, sendo que em ambos os casos se tratam de regiões mais arenosas.

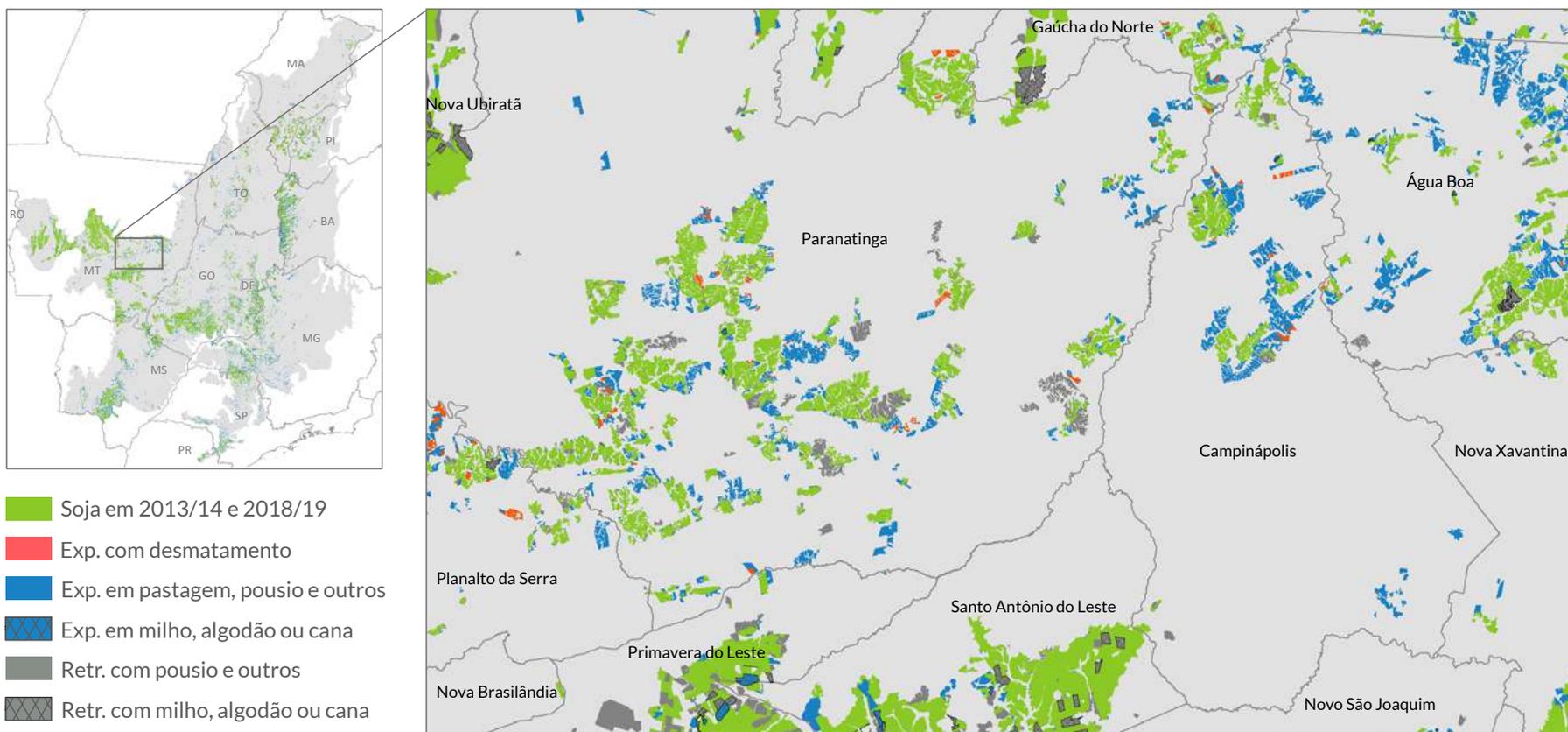


Figura 13. Dinâmica territorial da soja de 2013/14 a 2018/19 no Centro-Leste de Mato Grosso, com pequenas áreas esparsas de expansão com desmatamento (municípios de Planalto da Serra e Paranaatinga) e maior incidência de expansão sem desmatamento sobre áreas que, em grande parte, estavam sendo utilizadas para pastagem, com destaque para os municípios de Campinópolis e Água Boa.

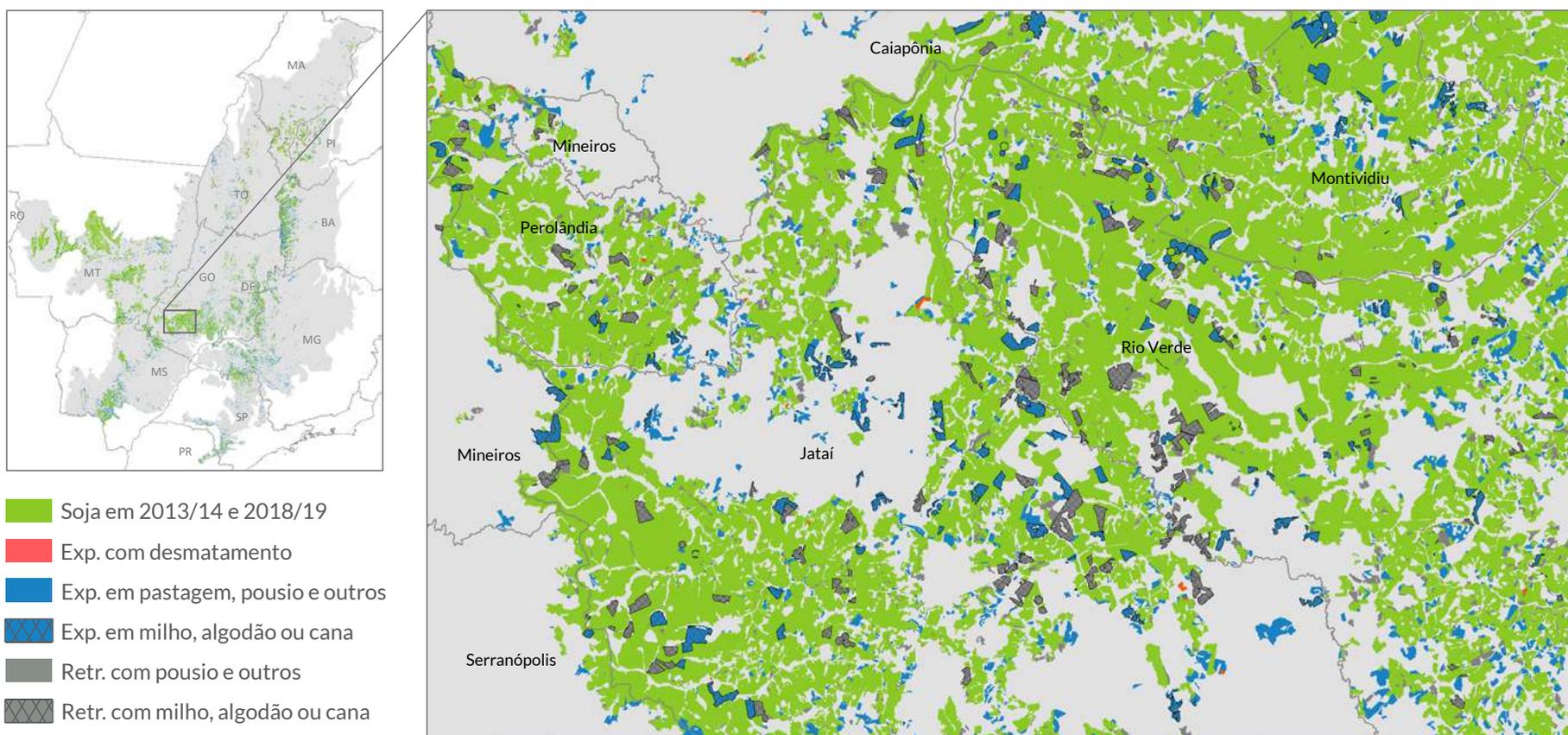


Figura 14. Dinâmica territorial da soja de 2013/14 a 2018/19 no Sudoeste de Goiás, onde a sojicultura está bem consolidada, mas que apresenta algumas áreas de expansão sobre pastagens nas regiões periféricas das áreas consolidadas. Também é permeada com alguns canaviais que, ao passar pelo processo de renovação, podem ser intercalados com o cultivo da soja.

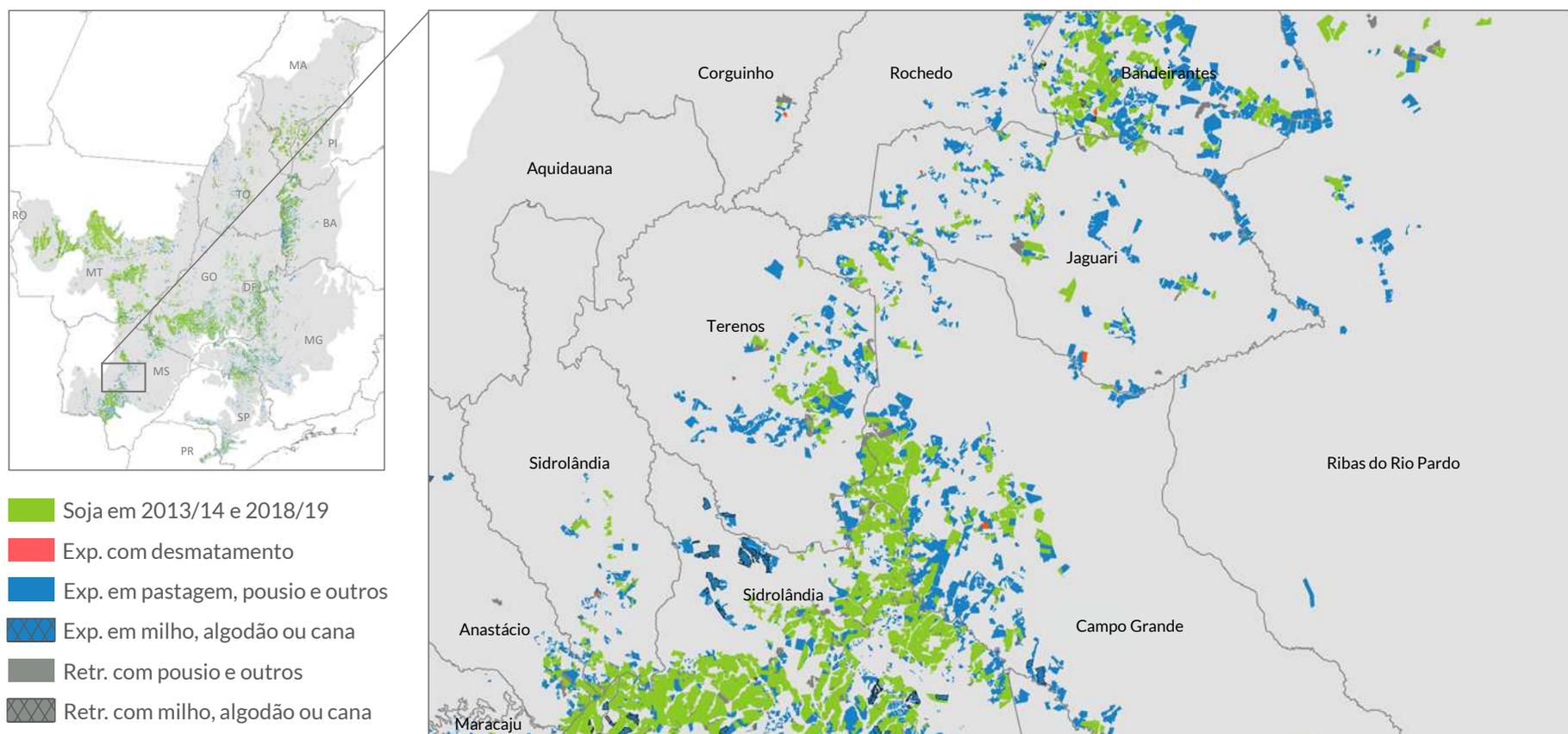


Figura 15. Dinâmica territorial da soja de 2013/14 a 2018/19 na região Central de Mato Grosso do Sul, próximo à capital Campo Grande, que concentra grandes extensões de pastagem com alta aptidão agrícola para soja e que nos últimos anos vem experimentando uma crescente conversão para a soja. É o que torna o Mato Grosso do Sul o segundo estado do bioma Cerrado com maior área de expansão de soja nos últimos anos, juntamente com Goiás.



Figura 16. Dinâmica territorial da soja de 2013/14 a 2018/19 no Norte do estado de São Paulo, com alta incidência de canaviais que, ao passar pelo processo de renovação, podem ser intercalados com lavouras de soja, em geral por uma safra. Neste caso, a expansão (azul) ocorreu nos canaviais em renovação na safra 2018/19, enquanto a retração (cinza) ocorreu nos canaviais em renovação na safra 2013/14 e que, conseqüentemente, estavam com cana-de-açúcar na safra 2018/19.

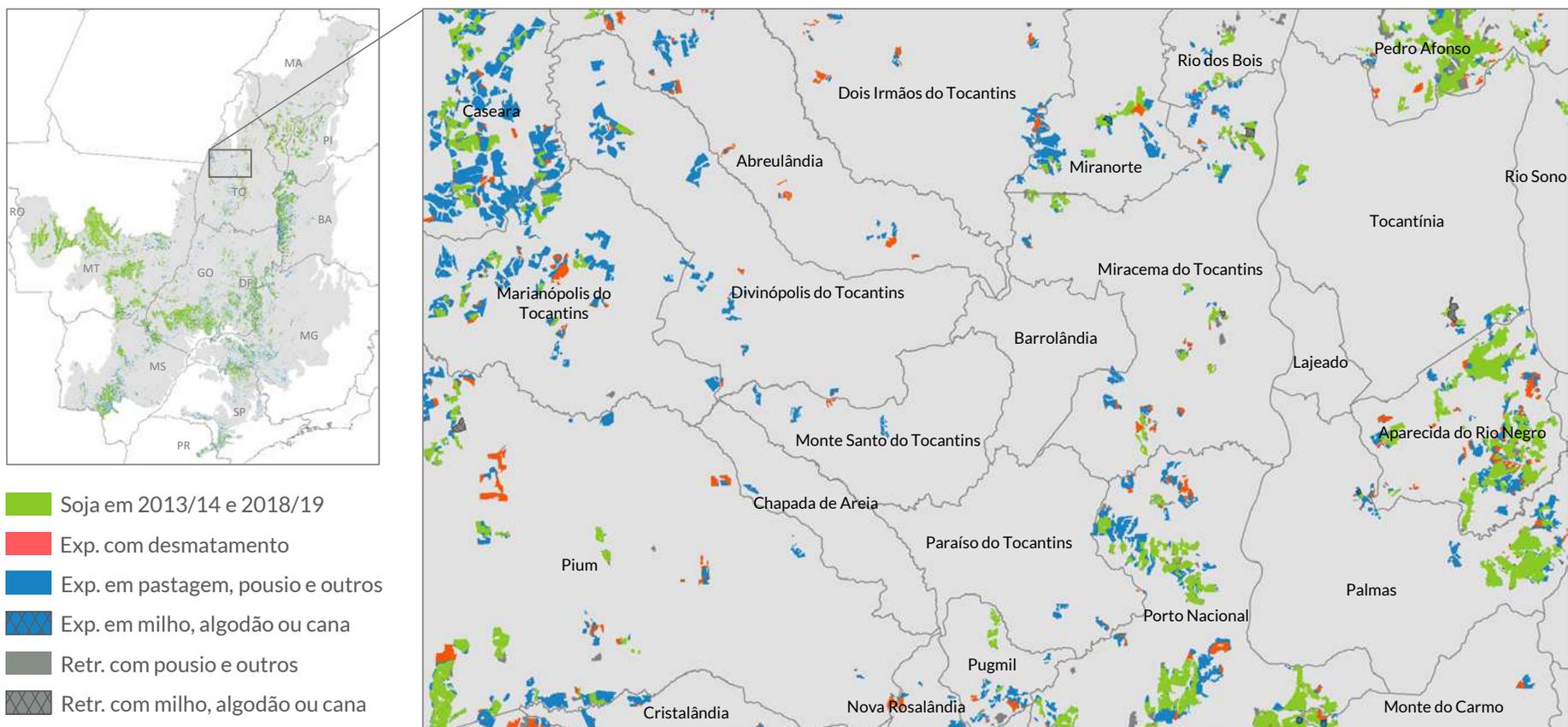


Figura 17. Dinâmica territorial da soja de 2013/14 a 2018/19 no Centro-Oeste do Tocantins, onde a sojicultura começa a assumir maior relevância devido à expansão (em menor parte com desmatamento e em maior parte sem desmatamento). Cabe destaque para os municípios de Caseara e Mirandópolis do Tocantins, nos quais houve forte expansão da soja em apenas 4 anos, ocupando especialmente pastagens.

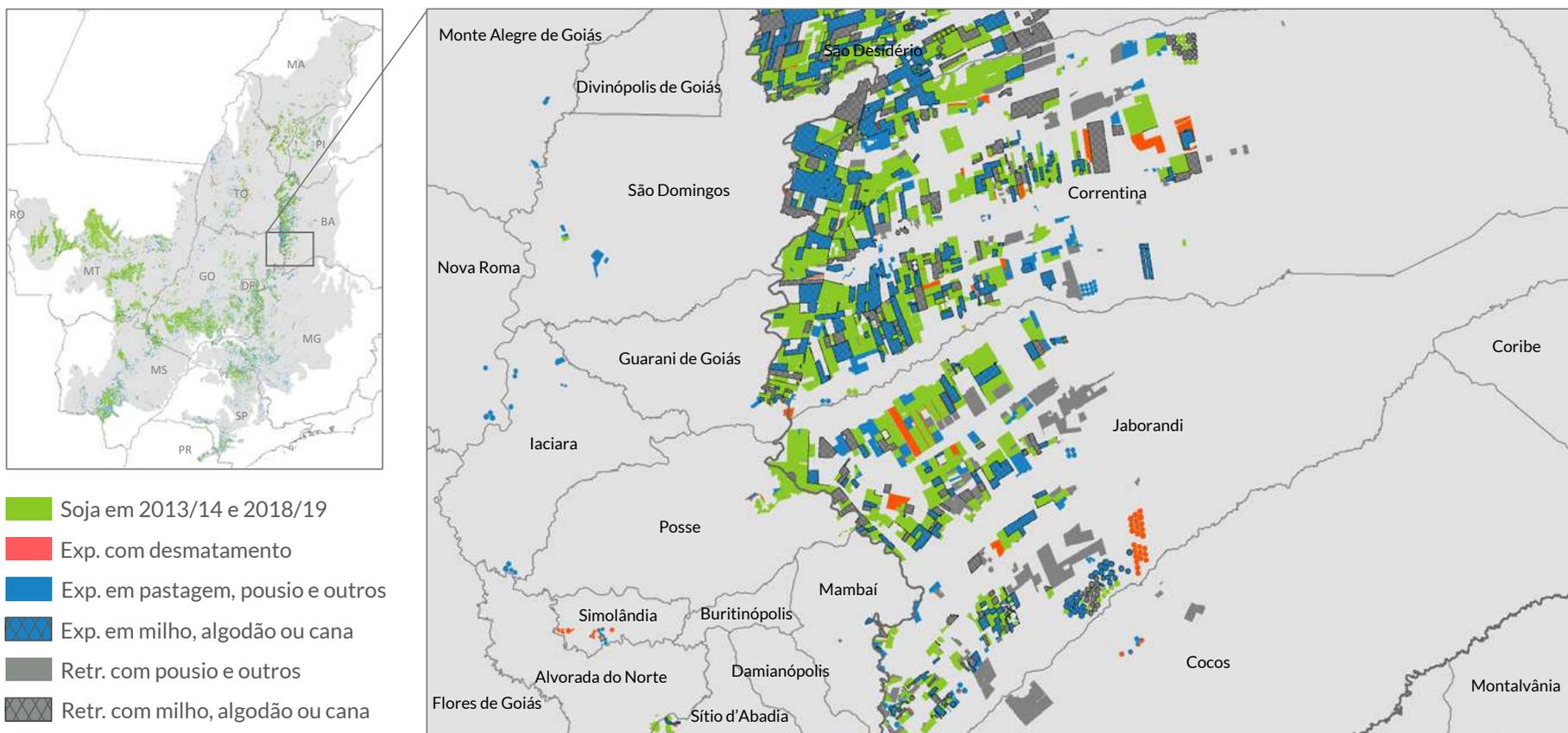


Figura 18. Dinâmica territorial da soja de 2013/14 a 2018/19 no Sudoeste da Bahia, onde a rotação da soja com culturas anuais (algodão e milho 1ª safra) é prática comum de manejo agrícola. A expansão sobre áreas sem desmatamento, bem como a retração, representa a grande maioria das áreas em rotação de culturas. Algumas áreas de retração, mais a Leste, onde há condições climáticas menos favoráveis e solos mais arenosos, sofreram retração devido à substituição por outras culturas (p. ex. gramíneas para produção de semente). É interessante notar uma área de expansão de soja com desmatamento (porção inferior da figura) em condição de elevado risco climático, porém com irrigação (forma circular das áreas irrigadas com pivô central).

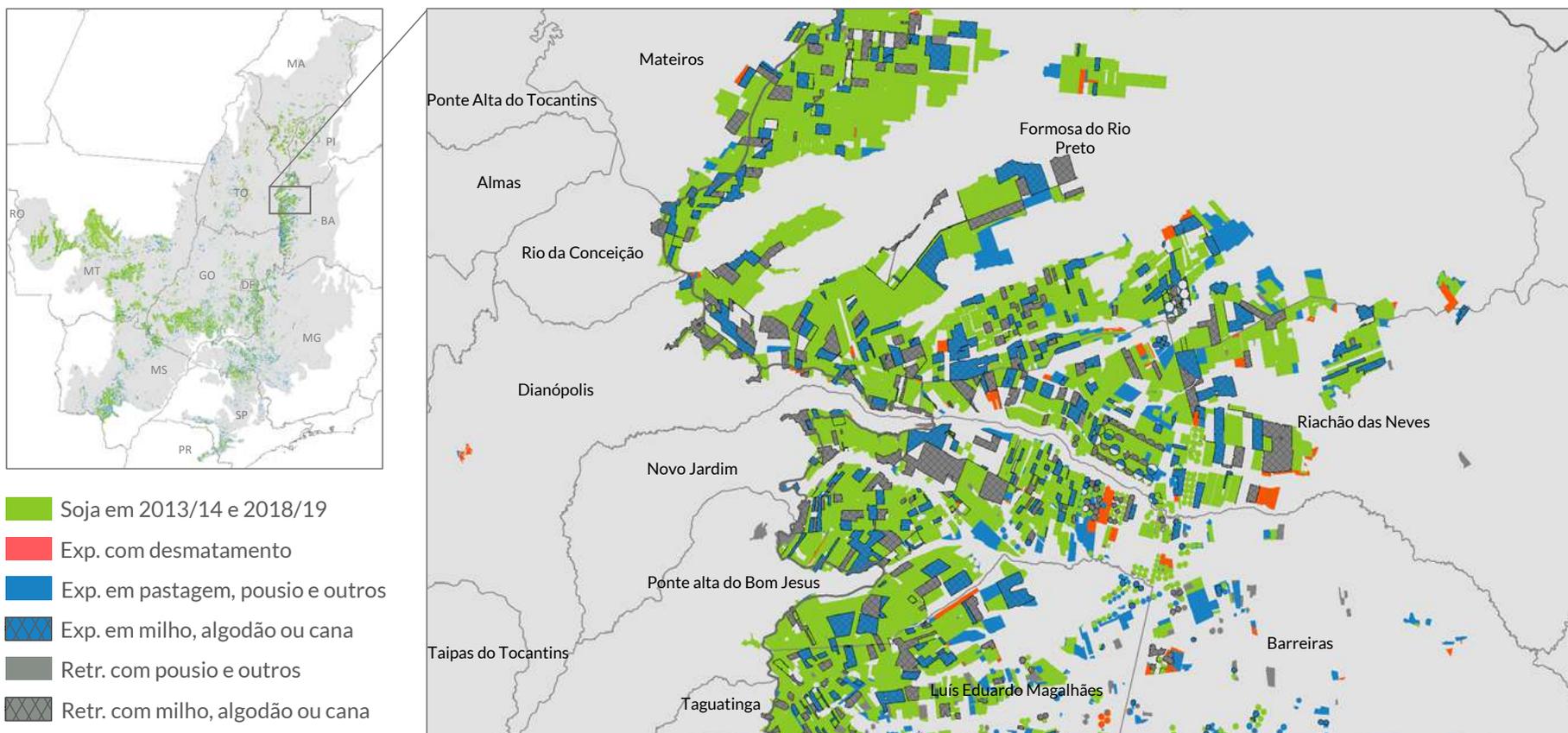


Figura 19. Dinâmica territorial da soja de 2013/14 a 2018/19 no Noroeste da Bahia, onde a produção de soja está mais consolidada e a prática da rotação com culturas anuais está bem consolidada. Embora Formosa do Rio Preto esteja sempre entre os municípios que mais desmatam no Matopiba para o plantio de soja, nota-se uma certa desaceleração nesse processo no período mais recente. A expansão com desmatamento em toda essa região ocorreu em áreas esparsas de tamanho relativamente grande.

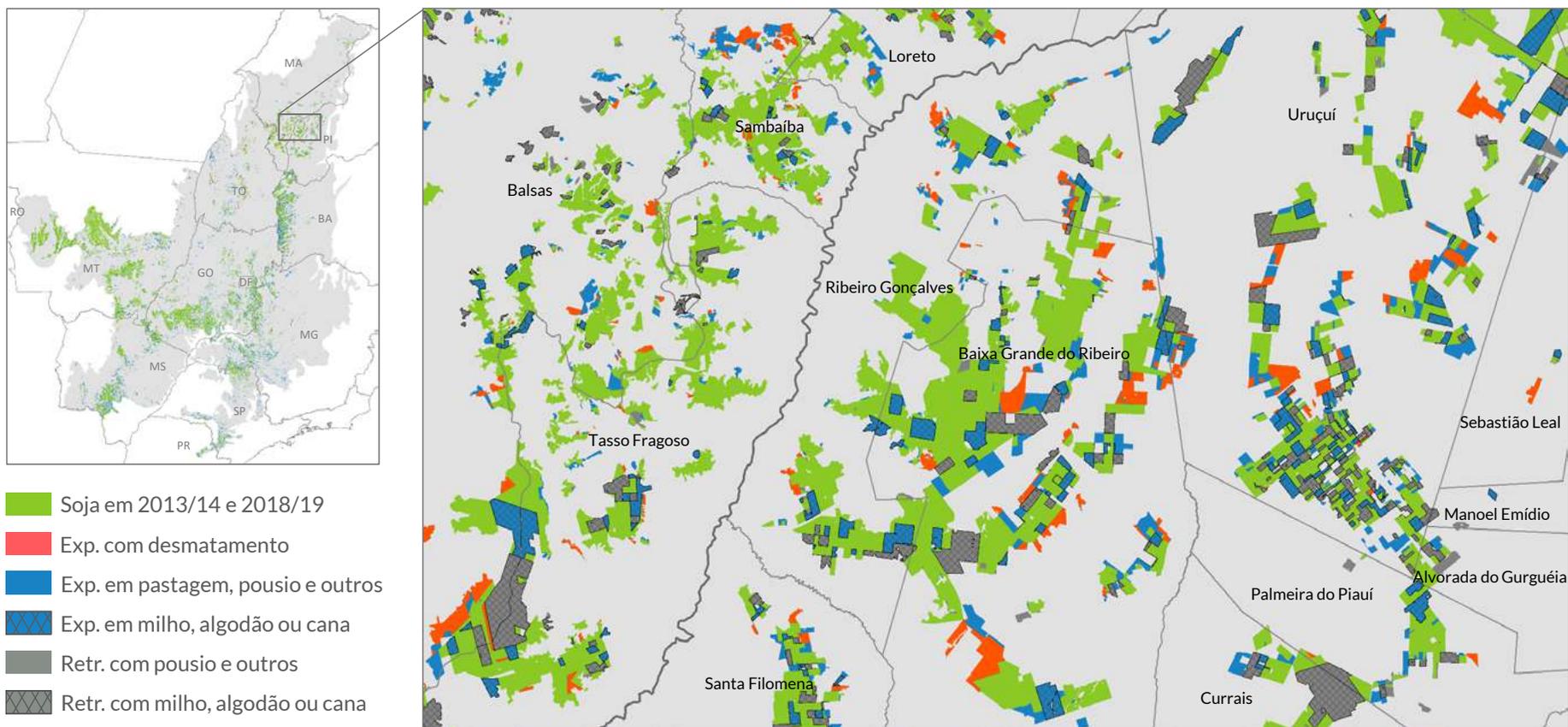


Figura 20. Dinâmica territorial da soja de 2013/14 a 2018/19 no Sul do Maranhão e do Piauí. Essa região se situa na porção mais recente da fronteira agrícola nacional, onde a expansão com desmatamento se faz mais presente no bioma Cerrado e na qual também se cultiva milho e algodão primeira safra, que rotacionam com a soja.



Imagem de 13/02/2019, região de Santa Filomena - PI | Landsat-8, OP 220/66, 5(R)6(G)4(B).

De 2013/14 a 2018/19, a expansão líquida da soja sobre novas áreas foi de 2,59 Mha – a expansão total foi quase duas vezes maior (5,08 Mha) - em função da dinâmica de seu cultivo, na qual uma parcela das lavouras pode rotacionar com culturas agrícolas (milho e algodão 1ª safra e reforma de cana) ou ser colocada em pousio (Figuras 12 a 20). Da mesma forma, áreas anteriormente cultivadas com milho e algodão 1ª safra e cana ou que estavam em pousio podem passar a ser ocupadas pela soja. A dinâmica de expansão da área de soja consiste, assim, tanto da incorporação ao sistema produtivo de áreas provenientes da conversão de vegetação nativa ou da intensificação de uso da terra por meio da conversão de pastagens, quanto da prática de manejo agrícola com rotação de culturas agrícolas ou pousio. O último caso é o mais comum em áreas menos favoráveis para o cultivo de soja.

O resultado do detalhamento dessa análise é apresentado na Figura 21, ilustrando as transições de uso e cobertura da terra associadas à dinâmica da soja nos Outros Estados e no Matopiba.

Nos Outros Estados, a expansão líquida da área de soja foi de 1,83 Mha, que representam 70,6% da expansão da soja no bioma Cerrado no período, dos quais:

1. 0,37 Mha (20,2%; 1,14 – 0,77 Mha) sem desmatamento, com rotação de culturas (milho e algodão 1ª safra e cana).
2. 0,16 Mha (8,7%; 1,16 – 1,00 Mha) sem desmatamento, sobre lavouras que estavam em pousio.
3. 1,23 Mha (67,2%) sem desmatamento, com conversão de pastagens (intensificação).
4. 0,08 Mha (4,4%), com desmatamento.

No Matopiba, a expansão líquida da área de soja foi de 0,76 Mha, que representa 29,6% da expansão da soja do período no bioma Cerrado, dos quais:

1. 0,04 Mha (5,2%; 0,49 – 0,45 Mha) sem desmatamento, com rotação de culturas (milho e algodão 1ª safra e cana).
2. 0,23 Mha (29,9%; 0,48 – 0,25 Mha) sem desmatamento, sobre lavouras que estavam em pousio.
3. 0,22 Mha (28,6%) sem desmatamento, com conversão de pastagens (intensificação).

4. 0,28 Mha (36,4%) com desmatamento.

Nota-se uma clara distinção na dinâmica de expansão da soja entre as regiões. Nos Outros Estados a rotação de culturas teve um papel relevante no aumento da área de soja (0,37 Mha; 20,2%). É algo que se deve, em parte, à rotação da soja com milho 1ª safra – um manejo ainda muito comum especialmente em algumas regiões de Goiás e Minas Gerais – ou por ocasião da reforma dos canaviais, intensificada na safra 2018/19 (Projeto Canasat/Agrosatélite)<sup>18</sup>. Outro ponto a ser considerado na questão da rotação de culturas é a substituição em anos recentes das lavouras de algodão de 1ª safra por soja em boa parte do Mato Grosso. No Matopiba, a rotação da soja com culturas anuais ocorre com bastante frequência, mas se manteve estável nas duas safras analisadas e, portanto, contribuiu pouco com o ganho de área para expansão da soja (0,04 Mha, ou 5,2%).

A expansão da soja em 2018/19 sobre áreas que estiveram em pousio em 2013/14 foi mais expressiva no Matopiba (0,23 Mha, ou 29,9%) do que nos Outros Estados (0,16 Mha, ou 8,7%).

A contribuição da conversão de pastagens na expansão líquida da soja foi mais relevante nos Outros Estados (1,23 Mha, ou 67,2%) do que no Matopiba (0,22 Mha, ou 28,6%). No Cerrado como um todo, as pastagens contribuíram com 56% da efetiva expansão da área de soja no período.

A conversão com desmatamento representa 4,4% (0,08 Mha) da expansão líquida da área de soja de 2013/14 a 2018/19 nos Outros Estados. A região é mais consolidada e tem grande disponibilidade de terras antropizadas com boa aptidão agrícola para a sojicultura sem desmatamento. Já no Matopiba, o plantio de soja com desmatamento representa 36,4% (0,28 Mha) – o que era de esperar numa região localizada na mais recente fronteira agrícola do Brasil, na qual o processo de consolidação da agricultura está em pleno curso e em que é menor a disponibilidade de terras antropizadas com aptidão agrícola para soja.

18 Projeto descrito e comentado em: <https://agrosatelite.com.br/cases/#canasat>.

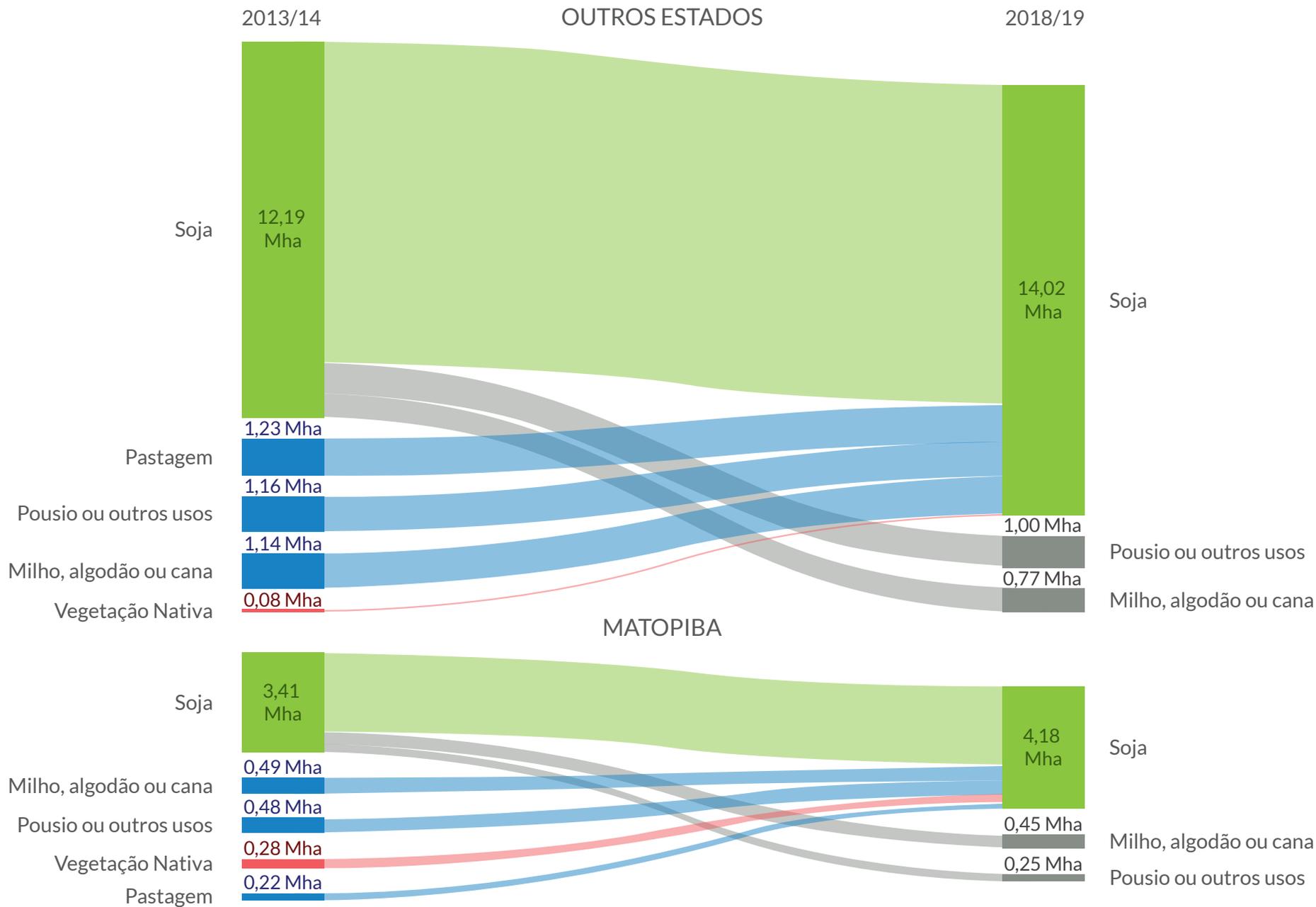


Figura 21. Diagrama de Sankey, ilustrando a área de soja das safras 2013/14 e 2017/18, juntamente com as transições de uso e cobertura da terra que ocorreram no período para: Outros Estados e Matopiba.



### 3. APTIDÃO AGRÍCOLA DA SOJA

## 3.1 ANTECEDENTES

O bioma Cerrado é bastante diverso em suas características edáficas, climáticas e de relevo, cuja parametrização e análise de acordo com as exigências agrometeorológicas das culturas permitem avaliar a aptidão edafoclimática em cada porção do território. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático – ZARC (ASSAD et al., 2008)<sup>19</sup>, por exemplo, toma por base essas características edafoclimáticas para anualmente recomendar ou não a semeadura de determinadas cultivares de soja em cada município brasileiro. Com o uso da metodologia do ZARC, a Agrosatélite (2015)<sup>20</sup> deu um passo adiante, avaliando a aptidão edafoclimática para a soja em nível de paisagem, o que permitiu identificar a variabilidade da aptidão dentro de um mesmo município. Além dos aspectos edafoclimáticos, a Agrosatélite incluiu na definição da aptidão agrícola da soja o conceito das restrições associadas: a declividade, que pode limitar a mecanização agrícola, e a altitude, que regionalmente permite identificar as áreas de maior ou menor favorabilidade à sojicultura. O referido estudo foi amplamente utilizado em fóruns como o GTC (Grupo de Trabalho do Cerrado), além de ter servido de base para diversas publicações técnico-científicas (NEPSTAD et al., 2019; RAUSCH et al., 2019; BRANDÃO JR et al., 2020)<sup>21</sup>.

19 ASSAD, E. D.; MARIN, F. R.; PINTO, H. S.; ZULLO JR, J. Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos do Brasil: Base Teórica, Pesquisa e Desenvolvimento. Informe Agropecuário (Belo Horizonte), v. 29, p. 47-60, 2008.

20 Relatório disponível para consulta pública em: <https://agrosatelite.com.br/cases/#expansao-agricola>.

21 NEPSTAD, L. S.; GERBER, J. S.; HILL, J. S.; DIAS, L. C. P.; COSTAS, M. H.; WEST, P. C. Pathways for recent Cerrado soybean expansion: extending the soy moratorium and implementing integrated crop livestock systems with soybeans. *Environmental Research Letters*, v. 14, 2 jan. 2019.  
RAUSCH, L. L.; GIBBS, H. K.; SCHELLY, I.; BRANDÃO JR, A.; MORTON, D. C.; FILHO, A. c.; STRASSBURG, B.; WALKER, N.; NOOJIPADY, P.; BARRETO, P.; MEYER, D. Soy expansion in Brazil's Cerrado. *Conservation Letters*, v. 12, 27 aug. 2019.  
BRANDÃO JR, A.; RAUSCH, L.; DURÁN, A. P.; COSTA JR, C.; SPAWN, S. A.; GIBBS, H. K. Estimating the Potential for Conservation and Farming in the Amazon and Cerrado under Four Policy Scenarios. *Sustainability*, v. 12, 10 feb. 2020.

## 3.2 MATERIAIS

Os principais materiais ou insumos de base utilizados neste estudo foram:

- Solos
  - Mapas de solos em escala de 1:250.000 disponíveis na base contínua do IBGE, cuja descrição do tipo de solo e, principalmente, as informações associadas à textura, permitiram a Agrosatélite classificar os solos em arenoso (tipo 1), médio (tipo 2) e argiloso (tipo 3). Para cada um desses solos foi atribuído um valor de referência para a capacidade de armazenamento de água (CAD)<sup>22</sup>, sendo 35 mm para o solo tipo 1 (com exceção para o DF, que foi 40 mm), 50 mm para o solo tipo 2, e 75 mm para o solo tipo 3.
- Dados climatológicos
  - Mapas de precipitação e evapotranspiração de referência diária provenientes de XAVIER et al. (2016, 2017)<sup>23</sup>, suficientes para compor uma normal climatológica de 30 anos. A série temporal utilizada nesse trabalho foi de 1986 a 2016, no formato matricial com resolução espacial de 0,25°.
- Informações do ZARC
  - Tabelas do ZARC disponíveis nas portarias publicadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para a cultura da soja na safra 2018/19 em cada estado. Essas tabelas foram utilizadas como referência para identificar os calendários de semeadura recomendados para os municípios<sup>24</sup>, levando em conta o

22 Na etapa do balanço hídrico, visando um melhor ajuste à realidade de campo, adotou-se um fator de ajuste na CAD de acordo com um modelo de crescimento de raiz da soja (BATTISTI, 2013), que atinge a profundidade de máxima de aproximadamente 50 cm na fase de maturação.

BATTISTI, R. **Épocas de semeadura da cultura da soja com base no risco climático e na rentabilidade líquida para as principais regiões produtoras do Brasil**. 2013. 261 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2013.

23 XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980- 2013). *International Journal of Climatology*, v. 36, p. 2644-2659, 2016.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. An update of Xavier, King e Scanlon (2016) daily precipitation gridded data set for the Brazil. In: *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*. São José dos Campos: INPE, 2017. v. 1. p. 562-569.

24 O ZARC divide o período recomendado para a semeadura da soja em cada município em decêndios.

tipo de solo e o tamanho do ciclo das cultivares.

- Dados do modelo digital de elevação
  - O Topodata (VALERIANO; ROSETTI, 2011)<sup>25</sup> foi a base de dados utilizada para a aplicação das restrições de: i) declividade (áreas com maior declividade limitam ou impedem a mecanização agrícola), e ii) altitude (regionalmente, as áreas de menor altitude são consideradas menos favoráveis para a produção de soja).
- Imagens de satélite e segmentação
  - Foram selecionadas 118 imagens do satélite Landsat-8/sensor OLI, livres de nuvens, para cobrir toda a extensão do bioma. As imagens foram processadas e segmentadas de acordo com os detalhes descritos na seção de metodologia.
- Dados de uso e cobertura da terra
  - Cada um dos segmentos mencionados acima foi classificado quanto ao uso e cobertura da terra na classe Vegetação Nativa (primária ou em estado avançado de regeneração) e na classe Antrópico. A classe Vegetação Nativa foi obtida com base na classe de vegetação nativa do TerraClass-2013, da qual foram subtraídos os polígonos desflorestados de 2013 a 2018 do PRODES-Cerrado<sup>26</sup>. A classe Água foi obtida do Map-Biomas, coleção 4<sup>27</sup>, e prevaleceu sobre as demais. Ou seja, foram utilizadas bases de dados públicos para obtenção dessas classes.
- Áreas especiais
  - Os segmentos também foram avaliados em relação a Terras Indígenas (FUNAI)<sup>28</sup>, Comunidades Quilombolas e Assentamentos (INCRA)<sup>29</sup>, Unidades de Conservação de

Para o município de Rio Verde (GO), por exemplo, o período de semeadura recomendado para a soja vai de 1º de outubro a 31 de dezembro, totalizando 9 decêndios. Esse período pode variar dentro de um mesmo município, dependendo do tipo de solo (arenoso, médio ou argiloso) e do grupo de cultivar (100, 115 ou 130 dias).

25 VALERIANO, M. C.; ROSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography (Sevenoaks)**, v. 32, p. 300-309, 2011.

26 Os dados do TerraClass 2013 e PRODES, ambos para o bioma do Cerrado, foram obtidos na página do TerraBrasilis em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>.

27 Projeto MapBiomas – Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 19/06/2020 através do link: <https://plataforma.mapbiomas.org/>.

28 Os dados referentes às Terras Indígenas foram obtidos na página da FUNAI em <http://www.funai.gov.br/>.

29 As informações do INCRA foram adquiridas da página do Acervo Fundiário da própria instituição:

Proteção Integral ou de Uso Sustentável<sup>30</sup>, além das Áreas de Proteção Ambiental (APAs) do Ministério do Meio Ambiente<sup>31</sup>. Todas essas condições de áreas especiais foram devidamente apuradas para cada classe de aptidão agrícola da soja.

- Base de imóveis do SICAR Nacional
  - Os limites georreferenciados dos imóveis rurais, juntamente com as informações de Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reserva Legal (RL), foram extraídos da base do SICAR Federal<sup>32</sup>.



<http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>.

30 As Áreas de Proteção Ambiental (APAs), embora façam parte do grupo das Unidades de Conservação de Uso Sustentável, foram tratadas como um grupo à parte, uma vez que o cultivo de soja é uma realidade em muitas delas, podendo inclusive estar previsto no plano de manejo, quando disponível.

31 Os dados das unidades de conservação utilizadas neste trabalho foram obtidos na página do MMA: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>.

32 Os dados do SICAR Federal utilizados neste trabalho foram obtidos na plataforma do Serviço Florestal em: <http://www.car.gov.br/#>, conforme atualização de 18/02/2020. Para maximizar a cobertura de propriedades declaradas no CAR e devido à impossibilidade de considerar informações sobre a validação do CAR, que ainda é incipiente, todos os imóveis disponíveis na Base do SICAR Federal foram considerados.

## 3.3 SÍNTESE METODOLÓGICA

### 3.3.1 ANÁLISE DA APTIDÃO EDAFOCLI- MÁTICA

No presente estudo, a avaliação da aptidão edafoclimática da soja para o bioma Cerrado foi aprimorada em relação ao trabalho prévio da Agrosatélite (2015) e atualizada para o ano de 2019. Isso foi possível em virtude da disponibilidade de bases climáticas e edáficas mais refinadas, de recentes adequações publicadas nas portarias do ZARC e das simulações realizadas que consideraram cultivares de soja de ciclo mais curto, que têm sido adotadas pela maioria dos produtores no bioma Cerrado para reduzir os riscos climáticos e abrir espaço para a segunda safra de milho com a devida intensificação do uso da propriedade rural.

As bases de dados foram processadas na plataforma do Google Earth Engine em formato matricial na resolução de 100x100m<sup>33</sup>. Na primeira etapa do processamento foi avaliada a aptidão edafoclimática para a cultura da soja, classificando cada pixel em 1) alta aptidão edafoclimática - AA, 2) média aptidão edafoclimática - MA, 3) baixa aptidão edafoclimática - BA, e 4) inapta - I. Foram consideradas cultivares de soja com ciclo de 100, 115 e 130 dias, semeadas de acordo com o calendário agrícola recomendado pelo ZARC, que considera dados climáticos históricos, textura do solo e tamanho de ciclo das cultivares, visando a adequação às condições minimamente favoráveis para um bom desempenho produtivo da cultura.

Conhecidos os decêndios recomendados para semeadura da soja em cada município, aplicou-se a metodologia do balanço hídrico (THORNTHWAITE; MATHER, 1955)<sup>34</sup> para

33 Apesar dos dados climáticos estarem disponíveis em uma resolução espacial de 0,25°, o dado de tipos de solos do IBGE, disponível em formato vetorial, possui escala de 1:250.000. A fim de evitar a degradação da informação do mapa de solos, todos os dados, inclusive do modelo climático, foram reamostrados para a resolução de 100x100m.

34 THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology, 8, Centerton, New Jersey, 1955.

simular a demanda hídrica da cultura da soja ao longo do seu ciclo. O produto do balanço hídrico utilizado como referência para atribuição da aptidão edafoclimática para soja foi o Índice de Satisfação de Necessidade de Água (ISNA), que varia de 0 a 1 e representa a quantidade de água que a planta consome em relação ao máximo que seria consumido na ausência de deficiência hídrica.

A deficiência hídrica afeta a produtividade da soja de forma diferenciada ao longo do ciclo fenológico, sendo que a fase de floração e enchimento de grãos é a mais crítica na definição da produtividade. Essa foi, portanto, a fase selecionada para avaliar a frequência e a intensidade do déficit hídrico a fim de determinar a aptidão edafoclimática da soja. O ZARC também considera essa fase para avaliar se a semeadura de soja é ou não recomendável em um dado município. Os critérios para definir esta aptidão, com base no ISNA, foram os seguintes: 1) alta aptidão edafoclimática ( $ISNA > 0,65$ ), 2) média aptidão edafoclimática ( $0,65 > ISNA > 0,55$ ), 3) baixa aptidão edafoclimática ( $ISNA < 0,55$ ) – todos de acordo com ANDRADE JÚNIOR et al. (2007)<sup>35</sup> –, e 4) Inapta para áreas urbanizadas, afloramentos rochosos e alguns municípios ou tipos de solo em que não há recomendação para semeadura da soja, segundo o ZARC.

Cada município possui um período de semeadura recomendado pelo ZARC, o que pode variar um pouco, dependendo do tamanho do ciclo da cultivar e do tipo de solo presente em cada porção do território. Por exemplo, para o município goiano de Rio Verde, o período de semeadura recomendado pelo ZARC para os 3 grupos de cultivares (100, 115 e 130 dias) vai de 1º de outubro a 31 de dezembro (9 decêndios). Para cada ano-safra, portanto, foram realizadas 27 simulações (9 x 3) para cada pixel do município em que o tipo de solo já era conhecido, totalizando 810 simulações para os 30 anos da série histórica avaliada. O resultado dessa etapa do processamento foi chamado nível 1 da análise da aptidão edafoclimática, conforme ilustrado na Figura 22.

Na etapa seguinte da análise, denominada de nível 2 (Figura 22), as classes de aptidão edafoclimática obtidas nas simulações realizadas para cada pixel da etapa anterior do processamento foram agrupadas para atribuir a classe edafoclimática predominante ao pixel em função da sua maior frequência de ocorrência. A classe de alta aptidão edafoclimática foi atribuída a um determinado pixel, por exemplo, quando essa condição foi

35 ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E.A.; SILVA, C.O. Zoneamento de risco climático para a cultura da soja no Estado do Piauí. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007 (Documentos, 167).

atingida em 80% ou mais das simulações. Caso contrário, a classificação foi rebaixada para média aptidão edafoclimática. Os pixels que não atingiram minimamente a condição média de aptidão edafoclimática em ao menos 80% das simulações foram, por sua vez, rebaixados para a classe de baixa aptidão edafoclimática.

Na terceira etapa, denominada de nível 3 (Figura 22), analisou-se a “frequência de veranicos” na fase de floração e enchimento de grãos – a ocorrência de veranicos nesses períodos críticos de desenvolvimento das lavouras tem importante impacto negativo sobre a produtividade da soja. Esta fase, dura de 4 a 6 decêndios, a depender do tamanho de ciclo da cultivar<sup>36</sup>. Isso significa que o valor médio de ISNA para esse período de até 6 decêndios pode ser o resultado de um conjunto de valores que diferem muito entre si, de tal forma que a média eventualmente não capte períodos de déficit hídrico superiores a 20 dias ao longo da fase – um caso típico em que a média pode esconder a realidade dos extremos. Eis um exemplo hipotético: duas séries de ISNAs podem apresentar alta aptidão edafoclimática com valor médio de 0,70 para 5 decêndios. A primeira delas, a que chamaremos i), mostra os seguintes valores por decêndio: 0,69, 0,71, 0,80, 0,60 e 0,70. A segunda, denominada ii), apresenta, por sua vez os valores 1,00, 1,00, 0,90, 0,40 e 0,20. Na série “i” a disponibilidade de água para a planta se manteve em patamares estáveis, enquanto na série “ii” houve déficit hídrico acentuado no quarto e no quinto decêndios, com impacto negativo sobre o potencial produtivo da soja. Portanto, simulações que apresentaram 2 ou mais decêndios consecutivos com ISNAs abaixo do limite da classe de alta aptidão edafoclimática (0,65) ou da classe de média aptidão edafoclimática (0,55) foram considerados como veranicos. A ocorrência de veranicos em 20% ou mais das simulações levaram ao rebaixamento de classes de alta para média aptidão, e de média para baixa aptidão (Figura 22). Nesse sentido, a análise da “frequência de veranicos” traz uma inovação importante para avaliar a aptidão edafoclimática.

Por fim, a análise edafoclimática denominada de nível 4 teve por finalidade eliminar pequenos polígonos residuais nas classes de alta e média aptidão edafoclimática. Para tanto, foram geradas isoietas com intervalos de 10 mm com base na precipitação média anual da normal climatológica de 30 anos. A partir disso, aplicou-se um corte no valor da isoietas de 870 mm/ano, de modo que os polígonos residuais de alta e média aptidão edafoclimática nos quais a precipitação média anual ficava abaixo de 870 mm/ano foram

36 A fase de floração e enchimento de grãos da cultivar de soja com ciclo de: i) 100 dias (10 decêndios) coincidiu com os decêndios, 5, 6, 7 e 8; ii) 115 dias (12 decêndios) coincidiu com o decêndio 5, 6, 7, 8 e 9; e iii) 130 dias (13 decêndios) coincidiu com os decêndios 6, 7, 8, 9, 10 e 11.

automaticamente classificados como baixa aptidão edafoclimática, concluindo assim a análise da aptidão edafoclimática, conforme detalhado na Figura 22.

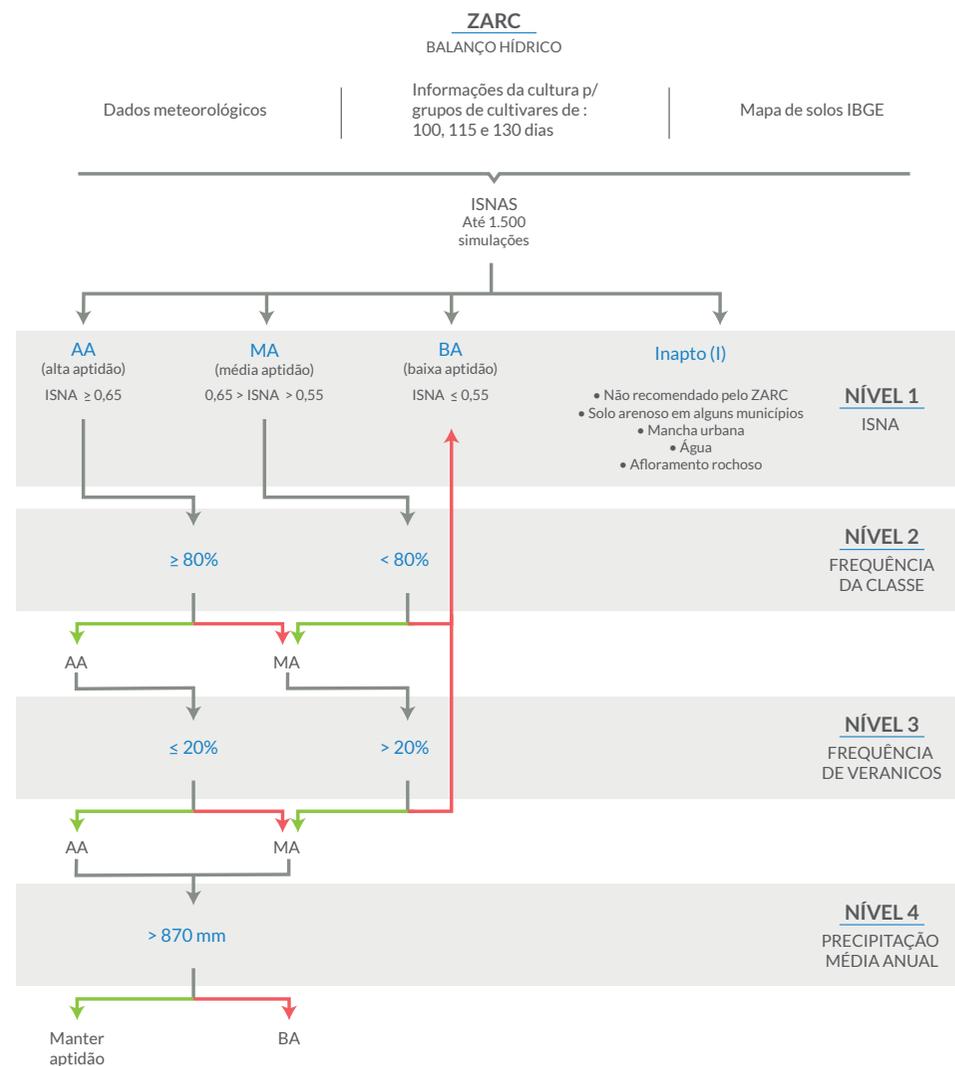


Figura 22. Fluxograma ilustrativo simplificado do processo de análise edafoclimática conduzido neste estudo, desde as variáveis de entrada, passando pelos 4 níveis de análise até a geração dos resultados da aptidão edafoclimática para a soja no bioma Cerrado.

O resultado da análise da aptidão edafoclimática foi associado aos polígonos resultantes da segmentação<sup>37</sup> das 118 imagens de satélite que cobrem a área de estudo. Ao todo, foram produzidos 17,83 milhões de segmentos, aos quais foram atribuídas as correspondentes aptidões edafoclimáticas, gerando uma base de dados em formato vetorial utilizada nos processamentos subsequentes para aplicação das restrições de declividade e altitude, além da classificação de uso da terra.

### 3.3.2 RESTRIÇÃO DE DECLIVIDADE E ALTITUDE

Um aprimoramento metodológico importante em relação ao estudo anterior da Agrosatélite (2015) se refere à aplicação da restrição de declividade, que variou de acordo com a classe textural do solo. No estudo anterior, este critério era limitado a um corte em 12% para todo o bioma Cerrado e agora variou de acordo com a textura do solo. Assim, foram restritos 1) solos de textura argilosa com declividade maior ou igual a 14%, 2) solos de textura média com declividade maior ou igual a 12%, e 3) solos de textura arenosa com declividade maior ou igual a 10%.

As regras para a aplicação da restrição de altitude também foram aprimoradas e refinadas. No estudo prévio da Agrosatélite (2015), a restrição de altitude foi definida a partir das mínimas cotas das lavouras de soja em cada região na safra 2013/14 – ou seja, áreas de altitude inferior às menores cotas agrícolas da referida safra foram consideradas restritas à altitude. Trata-se de um critério que foi observado ser bastante rigoroso, pois de 2013/14 a 2016/17, 20% da expansão da soja no bioma Cerrado ocorreu em áreas com restrição de altitude.

O esgotamento das áreas mais altas ou dos platôs de cada região leva os produtores a expandirem a sojicultura em altitudes menores. Nesse sentido, a Agrosatélite buscou avaliar o perfil dos 20% da área de soja que, de 2013/14 a 2016/17, cresceu em áreas consideradas com restrição de altitude. Concluiu-se que nas áreas de altitude superior a 500m as menores cotas diminuíram em até 30m em mais de 75% dos casos. Nas áreas com altitudes abaixo de 500m, as menores cotas diminuíram cerca de 24m em mais de 75%

<sup>37</sup> A segmentação foi aplicada de acordo com o algoritmo disponível do software ENVI FX, conforme detalhes disponíveis em: ENVI Feature Extraction Module User's Guide. 2008. Disponível em: [http://www.harris-geospatial.com/portals/0/pdfs/envi/feature\\_extraction\\_module.pdf](http://www.harris-geospatial.com/portals/0/pdfs/envi/feature_extraction_module.pdf).

dos casos. Diante dessa constatação, a nova superfície modelada com base nas menores cotas das lavouras de soja da safra 2018/19 foi rebaixada por essas duas constantes – em 30m para altitudes superiores a 500m e em 24m para altitudes inferiores a 500m. Esse novo ajuste à restrição de altitude torna a aptidão agrícola da soja mais adequada à realidade da produção no bioma Cerrado, especialmente nas regiões mais densamente ocupadas com sojicultura e nas quais há escassez de áreas aptas de maior altitude. A mudança faz com que a área de aptidão edafoclimática sem restrição de altitude aumente de forma significativa em relação ao estudo da Agrosatélite de 2015.

Ao aplicar os passos acima descritos, foi possível classificar a aptidão agrícola da soja nas 13 classes a seguir:

1. Alta aptidão edafoclimática sem restrição de declividade e altitude (AA/SR).
2. Alta aptidão edafoclimática com restrição de declividade (AA/RD).
3. Alta aptidão edafoclimática com restrição de altitude (AA/RA).
4. Alta aptidão edafoclimática com restrição de declividade e altitude (AA/RDA).
5. Média aptidão edafoclimática sem restrição de declividade e altitude (MA/SR).
6. Média aptidão edafoclimática com restrição de declividade (MA/RD).
7. Média aptidão edafoclimática com restrição de altitude (MA/RA).
8. Média aptidão edafoclimática com restrição de declividade e altitude (MA/RDA).
9. Baixa aptidão edafoclimática sem restrição de declividade e altitude (BA/SR).
10. Baixa aptidão edafoclimática com restrição de declividade (BA/RD).
11. Baixa aptidão edafoclimática com restrição de altitude (BA/RA).
12. Baixa aptidão edafoclimática com restrição de declividade e altitude (BA/RDA).
13. Inapta por deficiência edafoclimática, independente da restrição de declividade e/ou altitude ou tipos de solos em que não há recomendação para semeadura da soja segundo o ZARC(I).

Ao final da análise edafoclimática e da aplicação das restrições de declividade e altitude foi atribuído, a cada segmento, a classe Vegetação Nativa ou a classe Antrópico, levando em conta a predominância da classe sobreposta a cada segmento, incluindo a classe Água.

## 3.4 RESULTADOS DA APTIDÃO AGRÍCOLA DA SOJA NAS CLASSES VEGETAÇÃO NATIVA E ANTRÓPICO

Os principais resultados da aptidão agrícola para a soja no bioma Cerrado, nos Outros Estados e no Matopiba para as classes Antrópico e Vegetação Nativa, são apresentados nas Figuras 23-25. A aptidão agrícola foi separada em dois grandes grupos: “Com aptidão” e “Sem aptidão”. A divisão leva em conta que 98,7% da área de soja da safra 2018/19 no bioma Cerrado foram cultivados em áreas do grupo “Com aptidão”. Ou seja: apenas 1,3% da soja foi cultivada em áreas “Sem aptidão” – uma parcela desse percentual pode estar em áreas inaptas sob o ponto de vista edafoclimático, mas que sejam irrigadas. O grupo “Com aptidão” inclui as classes com alta e média aptidão edafoclimática sem restrição de declividade e altitude (AA/SR e MA/SR), consideradas as melhores áreas para a expansão do cultivo da soja. O grupo “Sem aptidão” inclui os seguintes subgrupos, considerados de pouco interesse para a expansão da soja: classes alta e média aptidão edafoclimática, mas com restrição de declividade e/ou altitude; as classes de baixa aptidão edafoclimática independente da condição de restrição (AA/RD, AA/RA, AA/RDA, MA/RD, MA/RA, MA/RDA, BA/SR, BA/RD, BA/RA, BA/RDA); e a classe inapta (I);

A classe Antrópico tem 95,73 Mha e corresponde a 46,8% do bioma Cerrado (Figura 23). Dessa área, o cultivo da soja ocupa 18,20 Mha. Restam, portanto, 77,53 Mha, divididos em 26,57 Mha do grupo “Sem aptidão” e 43,90 Mha do grupo “Com aptidão”, além das áreas especiais (6,24 Mha de APP e RL, e 0,82 Mha de TI, UC e QUII). Cabe destacar que desta área apta para o cultivo da soja, 26,14 Mha são atualmente utilizados como pastagens, sendo as de maior interesse para a futura expansão da soja livre de desmatamento. Ela corresponde a aproximadamente 47,3% de todas as pastagens do bioma Cerrado, estimadas em 55,28 Mha (Lapig, 2019)<sup>38</sup>.

38 Do mapa do Lapig de Atlas das pastagens Brasileiras do ano de 2018, foram removidas as áreas de cana-de-açúcar e de grãos da Agrosatélite para a safra 2018/19.

A área antropizada “Sem aptidão” também possui importância para a expansão da soja, embora de forma indireta, uma vez que boa parte dessa área pode ser utilizada de forma mais intensiva para a pecuária. Como consequência, haverá a liberação de áreas que compõem o grupo de terras “Com aptidão” e que atualmente são ocupadas por pastagens em quantidade suficiente para comportar um próximo ciclo de expansão da cultura no bioma Cerrado, sem gerar impacto à atividade pecuária a ponto de provocar novos desmatamentos.

As projeções do MAPA<sup>39</sup> indicam que a área de soja no Brasil crescerá pouco mais de 9,5 Mha ao longo dos próximos 10 anos ou até a safra 2028/29. Nesse período, a área cultivada no Cerrado precisará crescer de 4,5 a 5,0 Mha para que o bioma mantenha uma participação de 50% na produção nacional – hoje essa fatia é de 51%, mas já foi de 54% na safra 2000/01. A expectativa é que as pastagens do bioma sejam as grandes fornecedoras de terras para o próximo ciclo de expansão, considerando que o desmatamento associado à cultura mantenha a atual tendência de queda. Este feito pode se concretizar com a intensificação das pastagens ao melhorar a produtividade das áreas em apenas 10% ao longo da próxima década. Esta situação seria suficiente para assegurar que os 5,0 Mha necessários para a expansão da soja livre de desmatamento tornem-se uma realidade no bioma Cerrado.

Na hipótese de que a expansão da soja mantenha nos próximos 10 anos, a mesma taxa anual média do período de 2014 a 2018 (0,52 Mha/ano; Figura 6), o que é semelhante às projeções do MAPA, seria consumido 1/5 (5,2 Mha) da atual área de pastagem “Com aptidão” (26,14 Mha) do bioma. É preciso, contudo, considerar a diversidade regional do Cerrado. Na região dos Outros Estados, a área de pastagem “Com aptidão” (22,55 Mha; Figura 24) é suficiente para manter a taxa média de expansão de 0,37 Mha/ano (2014-2018; Figura 6) por 61 anos. No Matopiba, porém, essa área (3,59 Mha; Figura 25) se esgotaria em 24 anos, caso a expansão da soja se mantenha à taxa média de 0,15 Mha/ano, como a observada de 2014 a 2018 (Figura 6).

A área de pastagem “Com aptidão” nos Outros Estados (22,55 Mha; Figura 24) está majoritariamente concentrada em Goiás (7,35 Mha), Mato Grosso do Sul (6,41 Mha), Minas Gerais (4,68 Mha) e Mato Grosso (3,53 Mha), conforme ilustrado na Figura 27. Somadas, 39 Documentos disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2018-2019-2028-2029/view>.

correspondem a 97% da área disponível nos Outros Estados e 84% do bioma. Já a área de pastagem “Com aptidão” do Matopiba (3,59 Mha; Figura 25) está concentrada no Tocantins, que possui 78,8% do total (2,83 Mha) - os 21,2% restantes estão distribuídos no Maranhão (0,54 Mha; 15,0%), Bahia (0,21 Mha; 5,9%) e Piauí (0,01 Mha; 0,3%), conforme apresentado na Figura 27. Ou seja: no Matopiba, apenas o Tocantins tem área significativa de pastagem “Com aptidão” – as pastagens nos demais estados da região são praticamente irrelevantes para expansão da soja.

Uma análise mais detalhada dos imóveis rurais produtores de soja na safra 2018/19, constantes na base de dados do Cadastro Ambiental Rural, mostra a existência de 13,55 Mha antropizados “Com aptidão” (descontada a área de soja e as Áreas Especiais). Desse total, 6,10 Mha estão ocupados por pastagem (Figura 26) e, conseqüentemente, apresentam o maior potencial de conversão para soja.

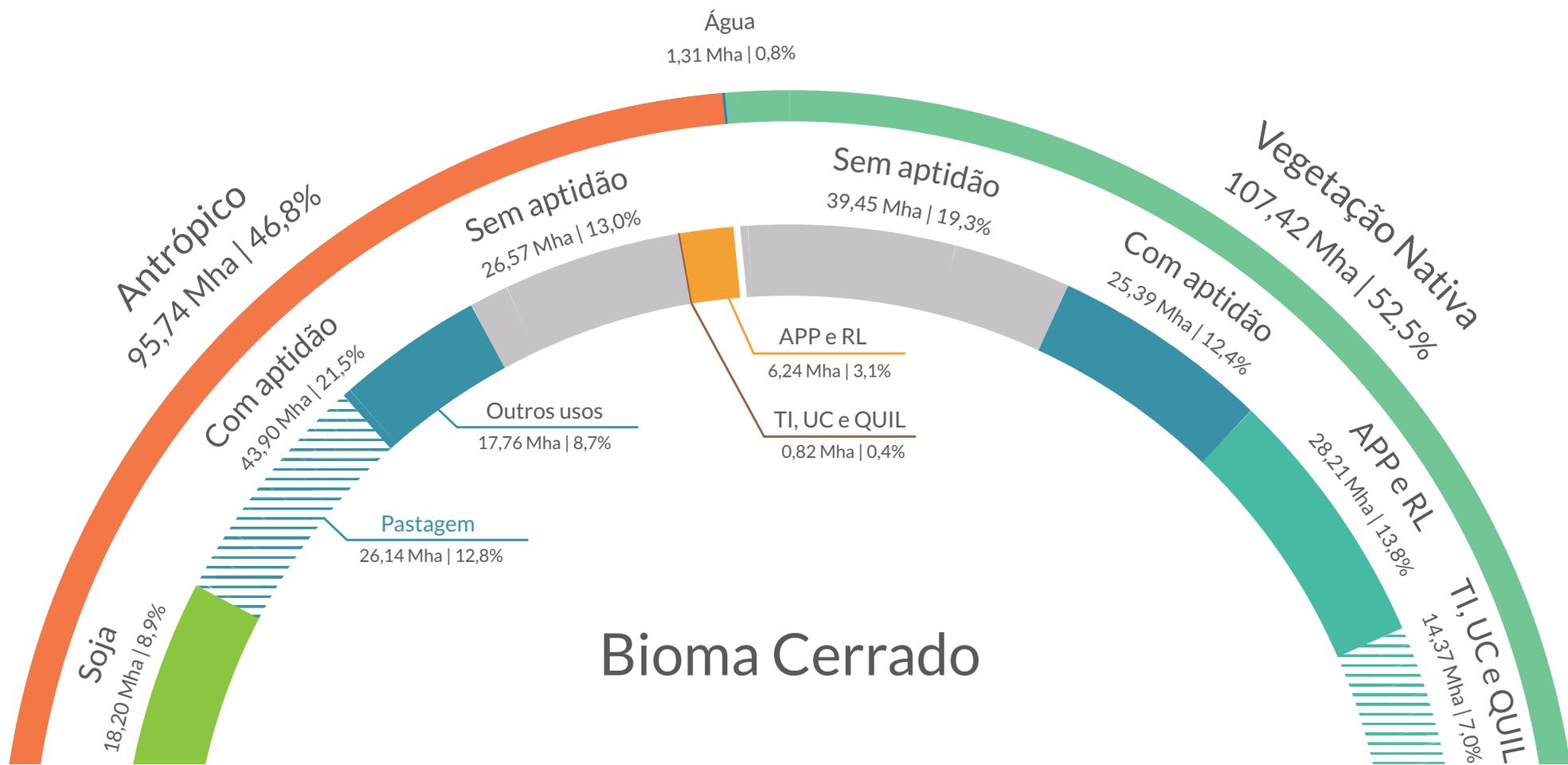
A Vegetação Nativa corresponde a 52,5% do bioma Cerrado. Há, nessa classe, 107,43 Mha, dos quais 25,39 Mha são do grupo “Com aptidão” (Figura 23), onde a soja pode vir a expandir, mas com desmatamento.

Nos imóveis rurais produtores de soja, encontram-se 4,41 Mha de Vegetação Nativa “Com aptidão” (Figura 26; descontadas APP e RL declaradas), distribuídas em porções quase iguais entre a região dos Outros Estados (2,25 Mha) e a do Matopiba (2,16 Mha). São áreas de vegetação nativa que excedem a exigência da Reserva Legal pelo Código Florestal e que, por se situarem em imóveis produtores de soja, apresentam elevado potencial de serem convertidas para a sojicultura com desmatamento. A área de vegetação nativa “Com aptidão” (excedente) é de 25,39 Mha, conforme ilustrado na Figura 23, dos quais 4,41 Mha e 20,98 Mha estão dentro e fora dos imóveis produtores de soja, respectivamente.

Considere-se, como hipótese, que a conversão de vegetação nativa com aptidão agrícola para soja ocorra somente nos imóveis produtores de soja. Nesse caso, mantidas as taxas médias anuais de expansão do período 2014-2018 (0,02 Mha/ano nos Outros Estados e 0,06 Mha/ano no Matopiba; Figura 11) as áreas dessa classe seriam consumidas em 112 anos nos Outros Estados e em 36 anos no Matopiba.



Imagem de 16/04/2020, região de Campo Grande-MS | Landsat-8, OP 225/73, 5(R)6(G)4(B).



## Bioma Cerrado

Figura 23. Representação das classes Antrópico, Vegetação Nativa e Água para o bioma Cerrado. O segundo nível desagrega as classes Antrópico e Vegetação Nativa nos grupos “Com aptidão” e “Sem aptidão”, indica a área ocupada com soja em 2018/19 e as áreas de APP e RL declaradas no CAR<sup>40</sup>, além das áreas ocupadas com Terras Indígenas (TI), Unidades de Conservação (UC - exceto APAs) e Comunidades Quilombolas (Quil). Na classe Antrópico “Com aptidão”, destaca-se a área de pastagem<sup>41</sup>.

<sup>40</sup> Os dados do SICAR Federal utilizados neste trabalho foram obtidos na plataforma do Serviço Florestal em: <http://www.car.gov.br/#>, conforme atualização de 18/02/2020. Para maximizar a cobertura de propriedades declaradas no CAR e devido à impossibilidade de considerar informações sobre a validação do CAR, que ainda é incipiente, todos os imóveis disponíveis na Base do SICAR Federal foram considerados.

<sup>41</sup> Mapa de Pastagem do ano base de 2018, proveniente do Atlas Digital das Pastagens Brasileiras, disponível em: <https://pastagem.org/atlas/map>.

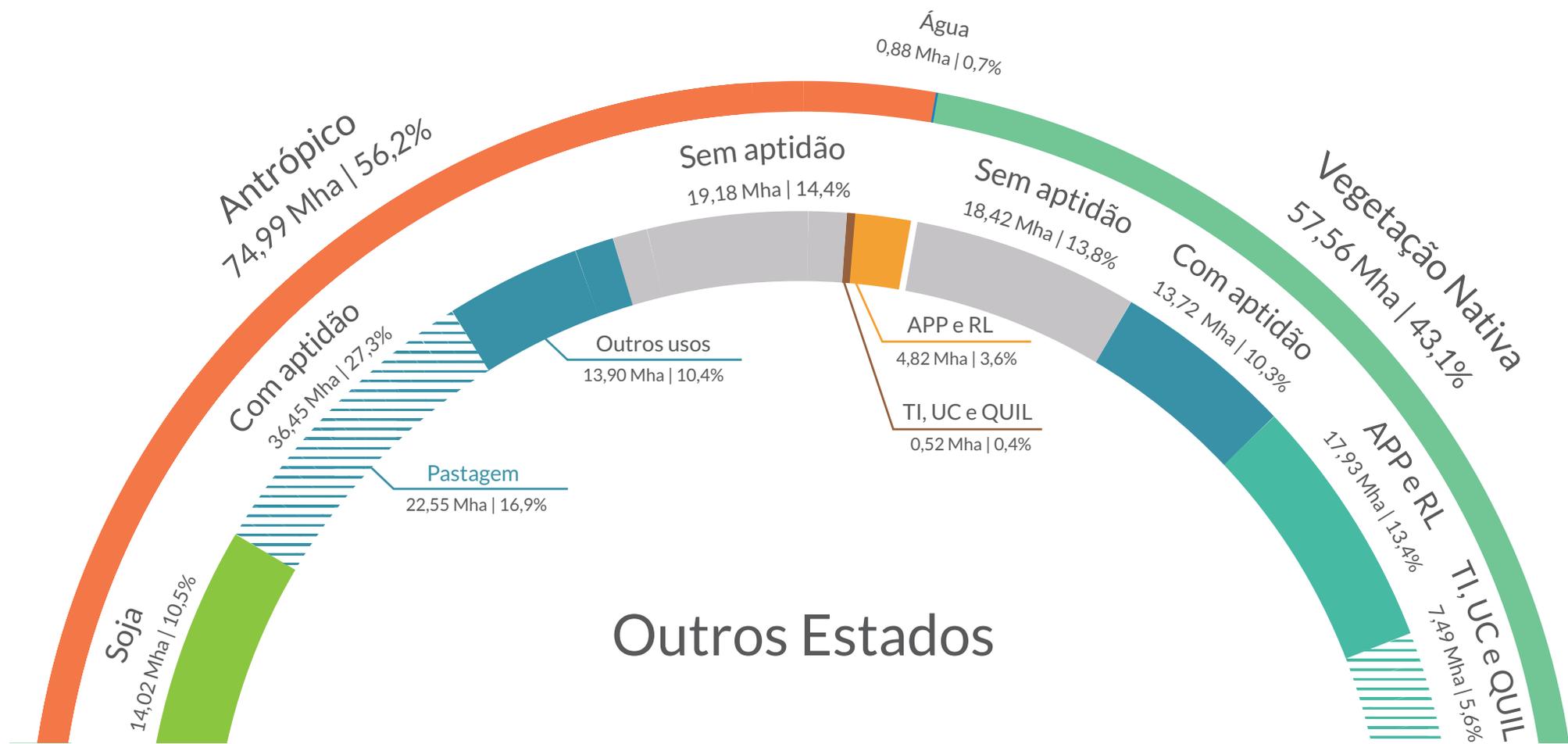


Figura 24. Representação das classes Antrópico, Vegetação Nativa e Água para os Outros Estados. O segundo nível desagrega as classes Antrópico e Vegetação Nativa nos grupos “Com aptidão” e “Sem aptidão”, indica a área ocupada com soja em 2018/19 e as áreas de APP e RL declaradas no CAR, além das áreas ocupadas com Terras Indígenas (TI), Unidades de Conservação (UC - exceto APAs) e Comunidades Quilombolas (Quil). Na classe Antrópico “Com aptidão”, destaca-se a área de pastagem.

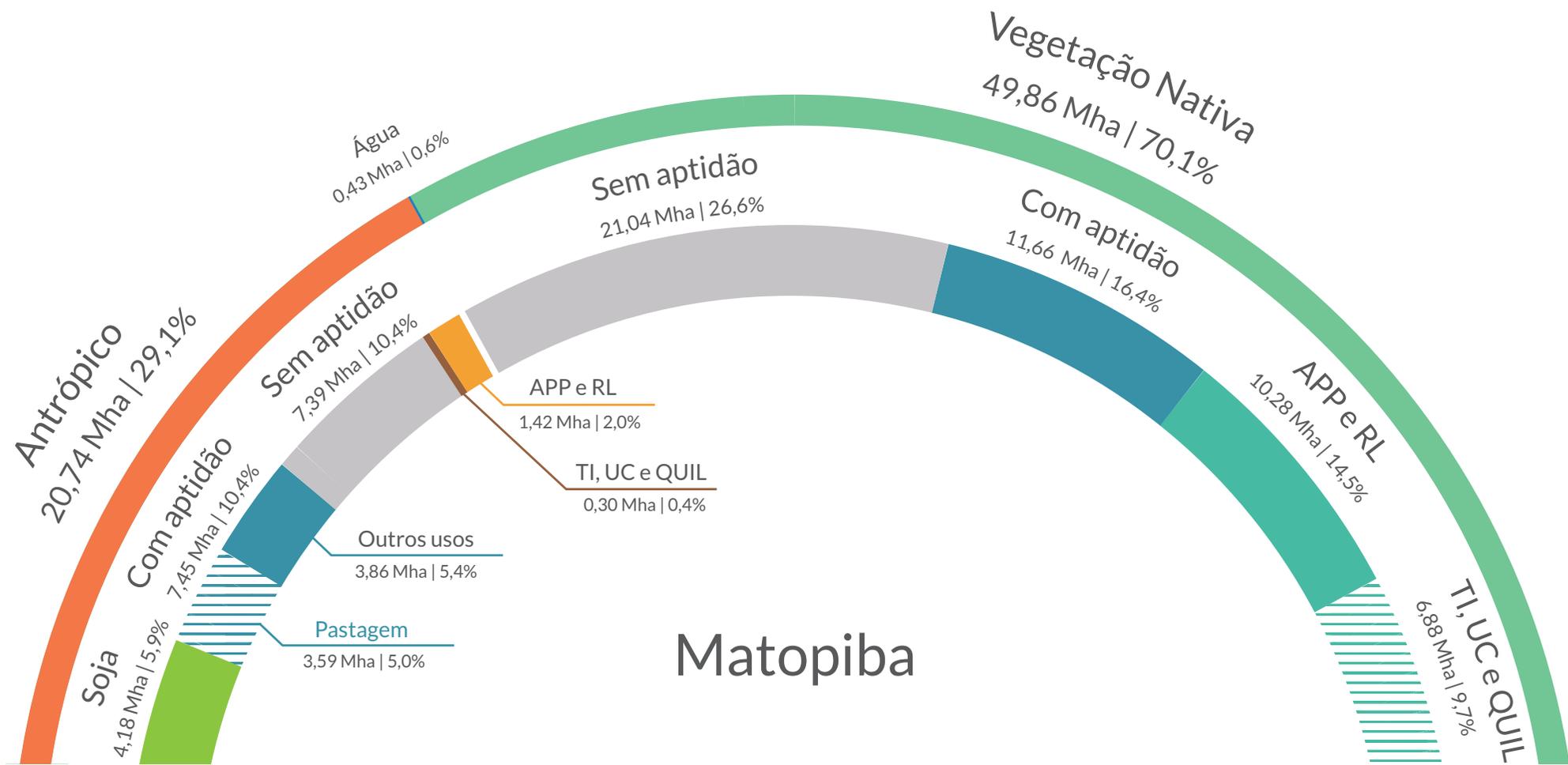


Figura 25. Representação das classes Antrópico, Vegetação Nativa e Água para o Matopiba. O segundo nível desagrega as classes Antrópico e Vegetação Nativa nos grupos “Com aptidão” e “Sem aptidão”, indica a área ocupada com soja em 2018/19 e áreas de APP e RL declaradas no CAR, além das áreas ocupadas com Terras Indígenas (TI), Unidades de Conservação (UC - exceto APAs) e Comunidades Quilombolas (Quil). Na classe Antrópico “Com aptidão”, destaca-se a área de pastagem.

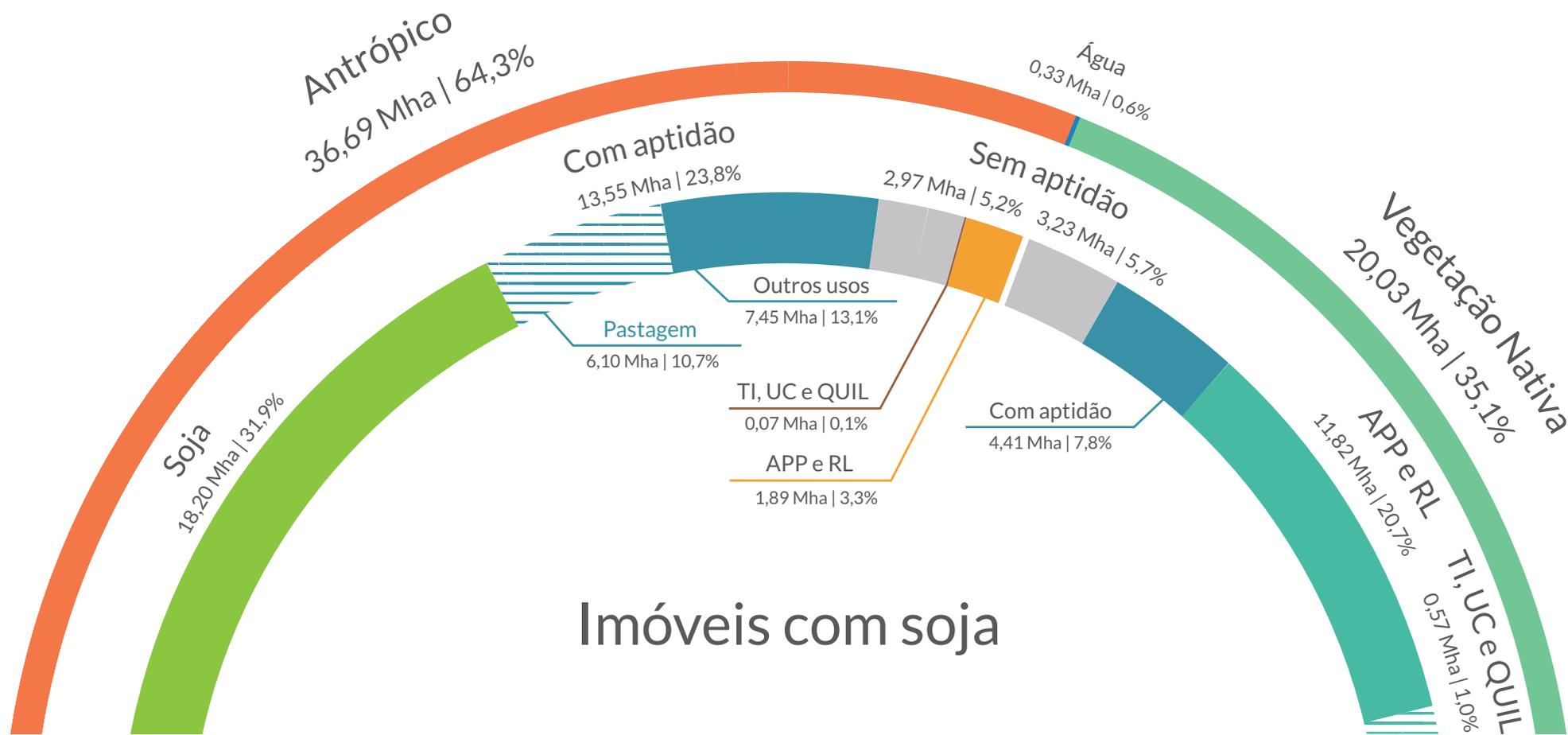


Figura 26. Representação das classes Antrópico, Vegetação Nativa e Água para os 121.893 imóveis que atualmente cultivam soja no bioma Cerrado, conforme dados declarados no CAR. O segundo nível desagrega as classes Antrópico e Vegetação Nativa nos grupos “Com aptidão” e “Sem aptidão”, indicando a área ocupada com soja em 2018/19 e as APP e RL declaradas no CAR, além das áreas ocupadas com Terras Indígenas (TI), Unidades de Conservação (UC - exceto APAs) e Comunidades Quilombolas (Quil). Na classe Antrópico “Com aptidão”, destaca-se a área de pastagem.

A Figura 27 apresenta, de forma espacial e gráfica, as classes Vegetação Nativa e Antrópico para o grupo “Com aptidão” em cada estado do bioma Cerrado. Os valores foram extraídos da Tabela 3 (Vegetação Nativa) e da Tabela 4 (Antrópico) e representam as terras situadas fora das Áreas Especiais, mas incluem os assentamentos e as Áreas de Proteção Ambiental, nos quais a atividade agrícola é permitida. Nota-se que em todos os estados do Matopiba as áreas “Com aptidão” são sempre menores na classe Antrópico do que na classe Vegetação Nativa. Já nos Outros Estados ocorre o inverso: as áreas “Com aptidão” são maiores na classe Antrópico em todos os estados que compõem a região. Além disso, a classe Antrópico está estratificada em Pastagem e Outros Usos, que em sua maioria são as áreas de agricultura anual (exceto soja), agricultura perene, cana-de-açúcar e florestas plantadas.

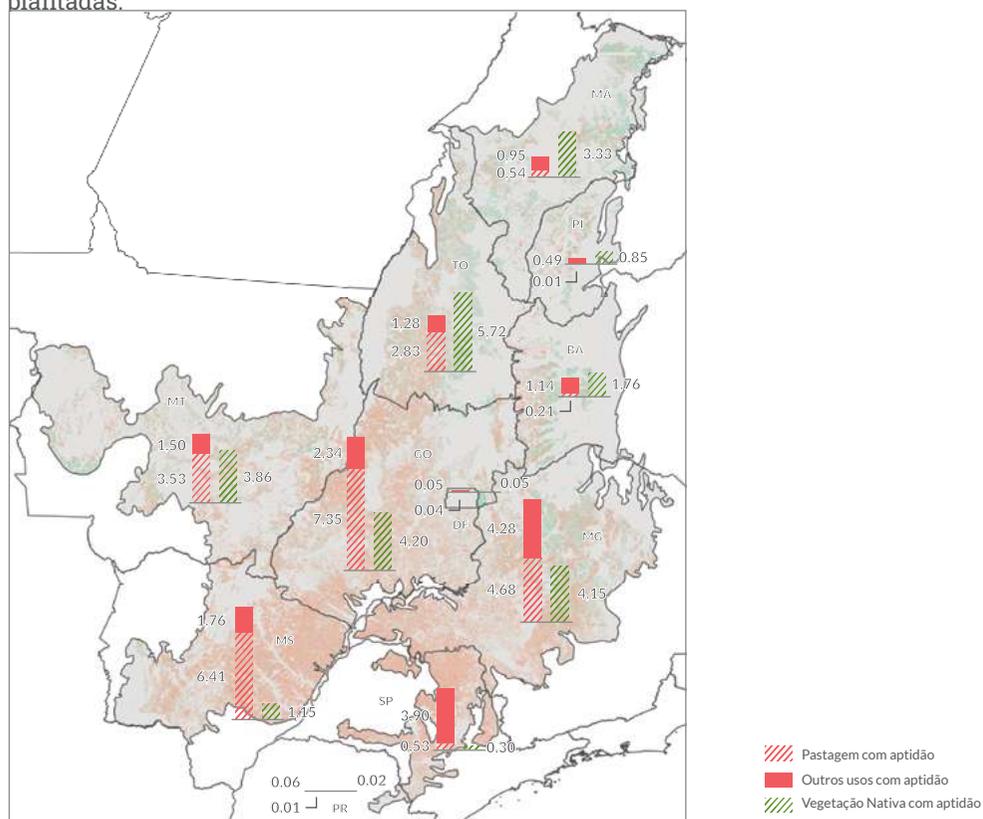
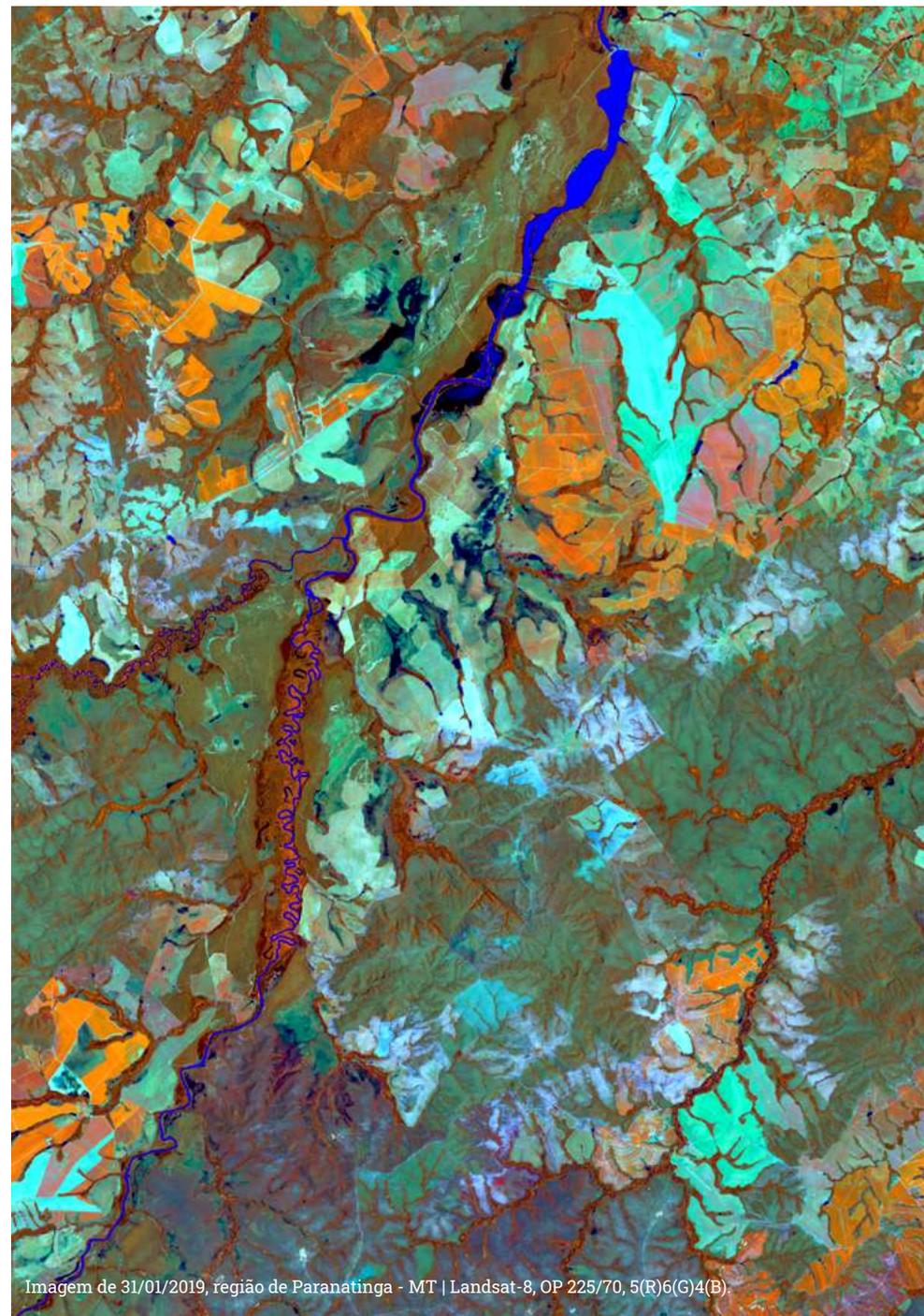


Figura 27. Distribuição das classes Vegetação Nativa (verde) e Antrópico (vermelho) do grupo “Com aptidão”. A classe Antrópico está estratificada em Pastagem e Outros Usos (agricultura – exceto soja, florestas plantadas etc.) por estado.



A Tabela 3 apresenta o resultado da análise da classe Vegetação Nativa “Com aptidão” fora e dentro de Áreas Especiais. No bioma Cerrado, cerca de 70% da classe Vegetação Nativa têm alta aptidão edafoclimática – os 30% restantes possuem média aptidão edafoclimática. Há uma proporção semelhante nas regiões Outros Estados e Matopiba. A classe Vegetação Nativa “Com aptidão” situada fora das Áreas Especiais corresponde a 58% no bioma Cerrado; 54% nos Outros Estados; e 65% no Matopiba. Se a essas áreas forem somadas as Áreas de Proteção Ambiental (APA) e os Assentamentos, nos quais a atividade agrícola é permitida, esses percentuais chegam a 64% no bioma Cerrado; 58% nos Outros Estados; e 73% no Matopiba. Isso indica que aproximadamente dois terços da atual cobertura com vegetação nativa e com aptidão agrícola no bioma Cerrado está exposta ao risco de conversão para outros usos, entre os quais a sojicultura. A principal parcela das Áreas Especiais com vegetação nativa e aptidão agrícola (27%) se refere às Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL).

Tabela 3. Classe Vegetação Nativa “Com aptidão” fora e dentro de Áreas Especiais por estado, para as regiões Outros Estados e Matopiba e para o bioma Cerrado.

CLASSE VEGETAÇÃO NATIVA DO GRUPO COM APTIDÃO | ÁREA EM HECTARES

Classe	Aptidão	DF	GO	MG	MS	MT	PA	PR	RO	SP	Outros Estados	MA	TO	PI	BA	MATOPIBA	Bioma Cerrado
VEGETAÇÃO NATIVA	AA/SR	96.346	5.099.591	1.440.687	1.081.387	8.556.698	135	891	6.778	430.243	16.712.755	3.666.367	7.022.840	149.834	46.635	10.885.676	27.598.431
	MA/SR	694	242.446	4.852.921	1.651.029	0	0	34.928	0	184.206	6.966.224	1.254.297	108.207	1.169.753	2.515.424	5.047.680	12.013.905
FORA DE ÁREAS ESPECIAIS		11.137	3.902.856	3.770.805	1.085.159	3.771.097	17	4.984	1.091	274.424	12.821.571	2.834.041	5.109.524	828.471	1.541.034	10.313.070	23.134.641
EM ÁREAS ESPECIAIS <sup>42</sup>	TI	0	5.588	380	18.002	2.004.810	0	0	4.679	0	2.033.459	296.233	281.548	0	0	577.781	2.611.240
	QUIL	0	43.200	1.762	717	7.951	0	0	0	0	53.630	2.774	25.456	472	0	28.702	82.331
	UC_PI	0	493	69.987	41.232	16	2	0	0	8.186	119.915	146.646	4.827	37.527	38.750	227.750	347.666
	UC_US	35	3.435	14.702	583	3	0	0	0	3.267	22.025	3	0	0	2.944	2.946	24.972
	Sobrep. TI-QUIL-UC_PI-UC_US	18.759	81.703	34.177	10.662	48.102	0	18	0	3.240	196.660	102.203	37.619	59.992	42.816	242.629	439.289
	APP_RL-CAR	30.650	1.008.085	2.018.520	1.512.946	2.639.267	115	15.878	1.008	303.600	7.530.069	1.045.368	1.057.630	366.847	719.373	3.189.218	10.719.288
	UC_APA	36.213	197.878	289.007	379	85.452	0	14.822	0	18.753	642.504	232.834	355.038	1.464	203.627	792.962	1.435.467
	ASS	1	87.664	93.224	62.737	0	0	0	0	2.289	245.914	189.394	185.327	24.393	13.515	412.629	658.543
	Sobrep. ASS-UC_APA	246	11.134	1.045	0	0	0	116	0	690	13.231	71.169	74.078	421	0	145.668	158.899
	Total		97.039	5.342.037	6.293.608	2.732.416	8.556.698	135	35.819	6.778	614.449	23.678.979	4.920.664	7.131.047	1.319.587	2.562.059	15.933.356

42 Áreas Especiais: TI - Terras Indígenas; QUIL - Territórios Quilombolas; UC\_PI - Unidades de Conservação de Proteção Integral; UC\_US - Unidades de Conservação de Uso Sustentável, exceto APAs; Sobrep. TI-QUIL-UC\_PI-UC\_US - Sobreposições envolvendo essas áreas especiais; APP\_RL-CAR - Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal, declaradas no Cadastro Ambiental Rural; UC\_APA - Unidade de Conservação de Uso Sustentável do tipo Áreas de Proteção Ambiental - APA; ASS - Assentamentos; Sobrep. ASS-UC\_APA - Sobreposições exclusivas entre essas áreas especiais.

A Tabela 4 apresenta o resultado da análise da classe Antrópico “Com aptidão” fora e dentro de Áreas Especiais. No bioma Cerrado, cerca de 73% da classe Antrópico têm alta aptidão edafoclimática – os 27% restantes possuem média aptidão edafoclimática. Proporção semelhante também ocorre nas regiões Outros Estados e Matopiba. A classe Antrópico “Com aptidão” que se encontra fora das Áreas Especiais corresponde a 86% no Bioma Cerrado; 88% nos Outros Estados; e 78% no Matopiba. Se a essas áreas forem somadas as Áreas de Proteção Ambiental (APA) e os Assentamentos, nos quais a atividade agrícola é permitida, esses percentuais chegam a 92% tanto no bioma Cerrado quanto nos Outros Estados e no Matopiba. Descontando as APP e RL, que representam cerca de 7% da classe Antrópico “Com aptidão”, toda área restante ou já é cultivada com soja (18,20 Mha; safra 2018/19) ou tem potencial para conversão para soja livre de desmatamento.

Tabela 4. Classe Antrópico “Com aptidão” fora e dentro de Áreas Especiais por estado, para as regiões Outros Estados e Matopiba e para o bioma Cerrado.

CLASSE ANTRÓPICO DO GRUPO COM APTIDÃO   ÁREA EM HECTARES																	
Classe	Aptidão	DF	GO	MG	MS	MT	PA	PR	RO	SP	Outros Estados	MA	TO	PI	BA	MATOPIBA	Bioma Cerrado
ANTRÓPICO	AA/SR	118.463	10.337.935	5.124.538	4.138.901	5.659.451	268	338	106	3.749.107	29.129.107	1.205.848	4.635.165	38.334	54.777	5.934.124	35.063.230
	MA/SR	1.373	240.658	4.668.020	4.447.018	0	0	74.376	0	971.848	10.403.293	385.533	38.807	486.011	1.337.115	2.247.466	12.650.759
FORA DE ÁREAS ESPECIAIS		1.618	9.340.152	8.714.172	7.955.836	4.695.980	220	29.016	63	4.130.411	34.867.467	1.318.654	3.345.145	490.476	1.218.017	6.372.291	41.239.759
EM ÁREAS ESPECIAIS <sup>43</sup>	TI	0	1.066	1.965	18.730	148.232	6	0	0	1	170.000	11.646	30.453	0	0	42.100	212.100
	QUIL	0	5.773	3.591	509	5.879	0	0	0	81	15.833	129	4.232	22	0	4.382	20.215
	UC_PI	293	31.901	14.877	1.018	4.444	0	0	0	3.631	56.165	6.268	7.171	135	923	14.497	70.662
	UC_US	26	1.644	9.084	177	0	0	0	0	9.953	20.883	1	0	0	2.265	2.266	23.149
	Sobrep. TI-QUIL-UC_PI-UC_US	6.956	4.883	2.401	993	7.085	0	1	0	2.933	25.252	4.545	7.207	287	208	12.247	37.499
	APP_RL-CAR	17.123	849.019	792.062	390.235	457.726	41	9.113	43	275.948	2.791.310	71.647	518.110	28.447	37.520	655.724	3.447.034
	UC_APA	92.182	125.733	74.185	750	77.575	0	36.502	0	268.813	675.739	67.418	553.710	6	124.398	745.532	1.421.271
	ASS	3	215.816	179.797	217.670	262.531	0	9	0	27.385	903.210	100.373	146.897	4.972	8.562	260.804	1.164.014
	Sobrep. ASS-UC_APA	1.635	2.605	425	0	0	0	73	0	1.800	6.539	10.699	61.047	0	0	71.746	78.285
	Total		119.836	10.578.592	9.792.558	8.585.918	5.659.451	268	74.714	106	4.720.955	39.532.399	1.591.380	4.673.972	524.345	1.391.892	8.181.590

43 Áreas Especiais: TI - Terras Indígenas; QUIL - Territórios Quilombolas; UC\_PI - Unidades de Conservação de Proteção Integral; UC\_US - Unidades de Conservação de Uso Sustentável, exceto APAs; Sobrep. TI-QUIL-UC\_PI-UC\_US - Sobreposições envolvendo essas áreas especiais; APP\_RL-CAR - Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal, declaradas no Cadastro Ambiental Rural; UC\_APA - Unidade de Conservação de Uso Sustentável do tipo Áreas de Proteção Ambiental - APA; ASS - Assentamentos; Sobrep. ASS-UC\_APA - Sobreposições exclusivas entre essas áreas especiais.

As Tabelas 5 e 6 apresentam o resultado da análise da classe Vegetação Nativa e Antrópico “Sem aptidão” fora e dentro de Áreas Especiais. Essas áreas não são de interesse para a expansão da soja, a não ser de forma indireta no processo de intensificação do uso da terra – ou seja, pela migração das pastagens de áreas “Com aptidão para outras “Sem aptidão” na classe Antrópico (Tabela 6).

Tabela 5 - Classe Vegetação Nativa “Sem aptidão” fora e dentro de Áreas Especiais por estado, para as regiões Outros Estados e Matopiba e para o bioma Cerrado.

CLASSE VEGETAÇÃO NATIVA DO GRUPO SEM APTIDÃO | ÁREA EM HECTARES

Classe	Aptidão	DF	GO	MG	MS	MT	PA	PR	RO	SP	Outros Estados	MA	TO	PI	BA	MATOPIBA	Bioma Cerrado
VEGETAÇÃO NATIVA	AA/RD	30,691	3,167,710	1,145,100	148,455	1,329,208	11	1,863	828	185,546	6,009,412	891,837	1,536,011	49,088	3,678	2,480,615	8,490,027
	AA/RA	52,772	2,373,259	480,495	1,006,051	9,204,915	13,261	60	36,204	198,506	13,365,522	3,861,204	7,283,028	418,108	80,200	11,642,539	25,008,062
	AA/RDA	43,398	1,155,680	630,409	382,102	1,484,811	0	473	2,655	87,006	3,786,535	1,183,250	964,146	190,284	5,421	2,343,101	6,129,636
	MA/RD	348	127,415	2,478,986	388,860	0	0	57,144	0	71,196	3,123,949	317,141	57,758	132,297	75,805	583,000	3,706,949
	MA/RA	80	555,217	1,469,546	1,294,730	0	0	4,236	0	26,648	3,350,458	2,746,043	410,099	2,333,886	1,317,722	6,807,750	10,158,207
	MA/RDA	170	174,776	526,256	257,222	0	0	20,669	0	19,571	998,664	694,459	39,497	700,211	216,888	1,651,054	2,649,719
	BA/SR	1,074	51,108	1,331,325	79,507	113,485	3	29	0	3,606	1,580,137	94,492	12,402	675,345	1,270,208	2,052,448	3,632,585
	BA/RD	224	4,597	535,713	22,057	832	2	7	0	202	563,635	646	131	113,444	134,575	248,795	812,430
	BA/RA	1,008	40,231	161,435	114,449	98,819	1,316	5	605	1,426	419,294	296,197	30,084	1,037,740	622,644	1,986,665	2,405,958
	BA/RDA	6	3,426	96,915	15,912	2,352	0	2	8	115	118,737	3,565	801	334,689	54,492	393,547	512,284
INAPTO	4,174	40,315	400,447	30,048	75,943	1,481	2	25	2,672	555,106	87,305	18,755	168,861	3,470,002	3,744,923	4,300,030	
FORA DE ÁREAS ESPECIAIS		1,393	3,953,288	5,537,286	1,668,435	5,226,211	8,547	15,645	6,357	247,494	16,664,656	5,733,865	4,260,512	3,959,838	4,559,467	18,513,681	35,178,338
EM ÁREAS ESPECIAIS <sup>44</sup>	TI	0	28,202	41,029	381,336	2,847,217	1	0	33,477	0	3,331,263	558,984	1,640,023	0	3,587	2,202,594	5,533,857
	QUIL	0	134,943	6,685	1,673	322	0	0	0	0	143,623	10,744	66,748	1,258	64,190	142,940	286,563
	UC_PI	14,093	142,147	423,272	56,449	158,429	627	2	0	10,462	805,481	628,956	715,709	664,353	119,838	2,128,857	2,934,338
	UC_US	59	22,149	24,478	2,338	16	0	0	0	843	49,882	5,400	2,973	4	53	8,431	58,312
	Sobrep. TI-QUIL-UC_PI-UC_US	19,082	191,336	195,420	34,009	287,621	28	1,427	0	1,212	730,137	278,763	735,165	179,534	127,180	1,320,643	2,050,779
	APP_RL-CAR	40,752	2,544,602	2,512,734	1,558,180	3,422,822	3,123	35,147	490	277,938	10,395,787	1,986,933	2,527,018	1,168,379	1,408,982	7,091,312	17,487,100
	UC_APA	57,868	480,450	393,289	7,225	367,726	3	32,229	0	56,812	1,395,602	384,652	297,786	43,716	590,015	1,316,169	2,711,770
	ASS	1	169,442	109,222	29,749	0	3,744	0	0	992	313,150	405,076	96,092	134,084	361,747	996,999	1,310,149
	Sobrep. ASS-UC_APA	697	27,174	13,212	0	0	0	41	0	743	41,867	182,765	10,685	2,787	16,576	212,813	254,680
	Total	133,945	7,693,734	9,256,626	3,739,393	12,310,365	16,074	84,492	40,325	596,495	33,871,448	10,176,137	10,352,712	6,153,953	7,251,636	33,934,438	67,805,886

44 Áreas Especiais: TI - Terras Indígenas; QUIL - Territórios Quilombolas; UC\_PI - Unidades de Conservação de Proteção Integral; UC\_US - Unidades de Conservação de Uso Sustentável, exceto APAs; Sobrep. TI-QUIL-UC\_PI-UC\_US - Sobreposições envolvendo essas áreas especiais; APP\_RL-CAR - Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal, declaradas no Cadastro Ambiental Rural; UC\_APA - Unidade de Conservação de Uso Sustentável do tipo Áreas de Proteção Ambiental - APA; ASS - Assentamentos; Sobrep. ASS-UC\_APA - Sobreposições exclusivas entre essas áreas especiais.

Tabela 6 - Classe Antrópico "Sem aptidão" fora e dentro de Áreas Especiais por estado, para as regiões Outros Estados e Matopiba e para o bioma Cerrado.

CLASSE ANTRÓPICO DO GRUPO SEM APTIDÃO | ÁREA EM HECTARES

Classe	Aptidão	DF	GO	MG	MS	MT	PA	PR	RO	SP	Outros Estados	MA	TO	PI	BA	MATOPIBA	Bioma Cerrado
ANTRÓPICO	AA/RD	9.207	1.107.271	1.063.834	76.110	239.582	0	236	1	417.920	2.914.161	226.571	227.588	1.354	3	455.515	3.369.676
	AA/RA	24.389	3.021.382	751.175	2.173.250	2.913.245	450	7	978	480.233	9.365.109	2.234.479	1.428.662	128.079	1.540	3.792.759	13.157.869
	AA/RDA	6.108	374.600	457.213	161.970	327.542	0	34	122	128.643	1.456.233	415.807	106.756	10.589	52	533.205	1.989.439
	MA/RD	74	11.340	682.895	88.916	0	0	71.040	0	154.252	1.008.518	37.333	621	3.224	5.722	46.899	1.055.417
	MA/RA	13	351.829	931.119	1.652.020	0	0	3.817	0	42.389	2.981.187	520.590	39.949	192.994	253.084	1.006.617	3.987.804
	MA/RDA	6	19.214	124.180	75.865	0	0	9.204	0	12.055	240.525	66.901	1.947	10.612	18.867	98.327	338.851
	BA/SR	12.089	30.764	1.253.589	168.081	7.887	3	182	0	17.663	1.490.259	2.359	3.877	43.581	480.899	530.716	2.020.975
	BA/RD	444	850	140.919	12.947	76	0	62	0	1.138	156.435	47	24	733	36.662	37.465	193.901
	BA/RA	1.240	28.592	234.925	182.360	10.505	187	4	0	4.978	462.792	38.524	6.530	126.703	396.499	568.256	1.031.048
	BA/RDA	46	1.100	21.439	5.544	282	0	4	0	335	28.750	420	112	10.997	23.498	35.027	63.777
INAPTO	121.249	340.385	372.105	95.625	101.361	681	3.693	12	305.278	1.340.391	82.247	72.422	74.952	1.041.786	1.271.406	2.611.798	
FORA DE ÁREAS ESPECIAIS		56.474	4.459.260	5.080.354	4.318.924	2.844.984	895	46.974	786	1.189.514	17.998.164	2.713.309	1.448.428	537.020	1.892.503	6.591.259	24.589.423
EM ÁREAS ESPECIAIS <sup>45</sup>	TI	0	464	15.141	13.719	37.010	0	0	313	0	66.647	21.880	46.109	0	578	68.567	135.214
	QUIL	0	23.407	5.878	621	220	0	0	0	26	30.152	5.557	7.543	553	23.556	37.209	67.361
	UC_PI	233	9.071	37.579	8.614	7.127	50	0	0	1.657	64.331	33.815	25.288	926	1.046	61.075	125.406
	UC_US	1.140	3.950	16.151	104	24	0	0	0	3.326	24.694	4.806	4.376	0	0	9.182	33.876
	Sobrep. TI-QUIL-UC_PI-UC_US	5.591	7.654	21.030	2.161	6.560	6	50	0	786	43.838	18.500	15.501	4.603	9.586	48.190	92.028
	APP_RL-CAR	9.528	541.892	643.710	293.511	369.434	344	13.856	16	160.605	2.032.897	374.031	233.955	39.778	113.371	761.136	2.794.033
	UC_APA	100.913	128.190	119.804	9.165	134.185	8	27.376	0	204.982	724.623	172.001	55.875	3.664	62.640	294.181	1.018.804
	ASS	10	110.718	92.267	45.867	200.937	20	14	0	3.071	452.905	235.703	48.274	16.683	152.032	452.692	905.597
	Sobrep. ASS-UC_APA	976	2.722	1.481	0	0	0	14	0	917	6.110	45.676	3.138	590	3.299	52.703	58.813
Total		174.865	5.287.328	6.033.394	4.692.687	3.600.482	1.322	88.283	1.114	1.564.884	21.444.360	3.625.279	1.888.487	603.817	2.258.612	8.376.195	29.820.555

45 Áreas Especiais: TI - Terras Indígenas; QUIL - Territórios Quilombolas; UC\_PI - Unidades de Conservação de Proteção Integral; UC\_US - Unidades de Conservação de Uso Sustentável, exceto APAs; Sobrep. TI-QUIL-UC\_PI-UC\_US - Sobreposições envolvendo essas áreas especiais; APP\_RL-CAR - Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal, declaradas no Cadastro Ambiental Rural; UC\_APA - Unidade de Conservação de Uso Sustentável do tipo Áreas de Proteção Ambiental - APA; ASS - Assentamentos; Sobrep. ASS-UC\_APA - Sobreposições exclusivas entre essas áreas especiais.

Visando completar a análise de uso e cobertura da terra para o bioma Cerrado, a Tabela 7 apresenta o resultado para a classe Água.

Tabela 7 - Classe Água fora e dentro de Áreas Especiais por estado, para as regiões Outros Estados e Matopiba e para o bioma Cerrado.

CLASSE ÁGUA   ÁREA EM HECTARES																	
Classe Água	DF	GO	MG	MS	MT	PA	PR	RO	SP	Outros Estados	MA	TO	PI	BA	MATOPIBA	Bioma Cerrado	
FORA DE ÁREAS ESPECIAIS	32	220.832	218.278	33.783	98.215	9.246	112	0	100.349	680.847	67.219	185.973	29.290	29.097	311.578	992.426	
EM ÁREAS ESPECIAIS <sup>46</sup>	TI	0	585	37	106	7.381	3	0	0	8.111	188	9.229	0	3	9.419	17.530	
	QUIL	0	459	668	0	16	0	0	0	1.144	45	148	42	1.186	1.421	2.565	
	UC_PI	773	43	147	82	9.588	516	0	0	52	11.201	5.207	6.987	1.949	110	14.254	25.455
	UC_US	1	611	0	5	50	0	0	0	16	682	10	0	0	0	10	692
	Sobrep. TI-QUIL-UC_PI-UC_US	214	681	54	21	4.493	21	6	0	12	5.504	3.325	6.216	664	82	10.287	15.791
	APP_RL-CAR	142	18.945	78.044	9.896	20.469	50	111	0	2.993	130.650	2.680	7.120	543	2.436	12.779	143.429
	UC_APA	5.194	6.072	1.120	371	8.384	290	268	0	11.372	33.071	16.951	35.035	2.426	6.444	60.856	93.927
	ASS	0	2.325	854	359	1.506	126	0	0	43	5.214	839	2.206	321	1.493	4.858	10.072
	Sobrep. ASS-UC_APA	0	18	1	0	0	0	0	0	1	20	5.218	388	325	55	5.986	6.006
Total	6.355	250.573	299.203	44.624	150.101	10.253	498	0	114.838	876.445	101.682	253.302	35.561	40.904	431.449	1.307.894	

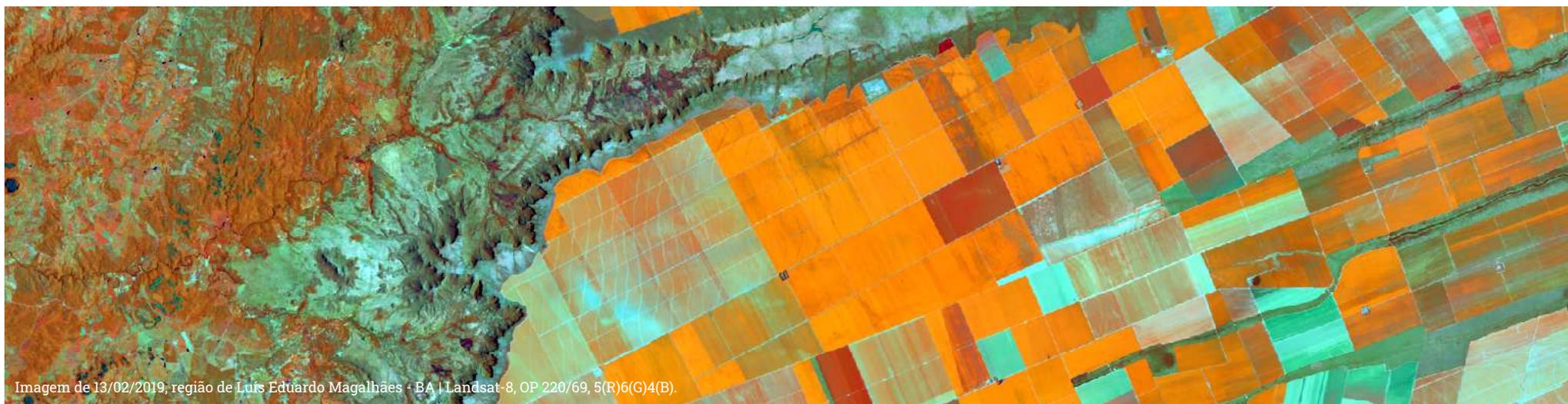


Imagem de 13/02/2019, região de Luís Eduardo Magalhães - BA | Landsat-8, OP 220/69, 5(R)6(G)4(B).

46 Áreas Especiais: TI - Terras Indígenas; QUIL - Territórios Quilombolas; UC\_PI - Unidades de Conservação de Proteção Integral; UC\_US - Unidades de Conservação de Uso Sustentável, exceto APAs; Sobrep. TI-QUIL-UC\_PI-UC\_US - Sobreposições envolvendo essas áreas especiais; APP\_RL-CAR - Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal, declaradas no Cadastro Ambiental Rural; UC\_APA - Unidade de Conservação de Uso Sustentável do tipo Áreas de Proteção Ambiental - APA; ASS - Assentamentos; Sobrep. ASS-UC\_APA - Sobreposições exclusivas entre essas áreas especiais.



## 4. SISTEMA DE AVALIAÇÃO PARA COMPENSAÇÃO FINANCEIRA

O estabelecimento de um mecanismo de compensação financeira pela manutenção da Vegetação Nativa preservada nos imóveis que cultivam soja é uma ideia que tem ganhado força no mercado. Discute-se a possibilidade de conceder uma compensação financeira ao produtor rural que mantenha seu excedente de Reserva Legal preservado, na hipótese de que ele possua uma Autorização para Supressão Vegetal (ASV) em área “Com aptidão” para a soja. A compensação financeira seria calculada regionalmente, com base em um indicador que represente o custo de oportunidade da terra (o custo de arrendamento para a soja, por exemplo). O produtor rural seria compensado por cada hectare de vegetação nativa excedente preservada a cada ano.

A ABIOVE desenvolveu em parceria com a Agrosatélite a primeira versão desse sistema, que foi denominado de CCM, um acrônimo das palavras Cerrado Conservation Mechanism. O CCM é uma plataforma web desenvolvida para auxiliar os diversos atores envolvidos no processo de compensação financeira oferecido aos produtores rurais elegíveis. Cabe destacar quatro principais objetivos do sistema: i) ser um elo tecnológico de facilitação para que o produtor rural possa se candidatar ao acesso desses recursos financeiros junto às traders de grãos; ii) avaliar a elegibilidade dos produtores dos imóveis candidatos a receber a compensação financeira; iii) permitir a operação e a gestão do mecanismo por parte das traders e do gestor do fundo; iv) oferecer transparência e auditabilidade para os financiadores.

A primeira versão do CCM é de acesso restrito à ABIOVE, às traders a ela associadas e ao gestor do fundo, mas o sistema também poderá ficar disponível a outras traders que venham a fazer parte do mecanismo. A ABIOVE cadastra e gerencia as traders que acessam o sistema – o gestor de cada trader cuida do cadastramento e do gerenciamento dos seus usuários. A Figura 28 ilustra esquematicamente o papel dos diferentes atores que interagem entre si e com o sistema, além apresentar resumidamente o fluxo de informações no CCM.

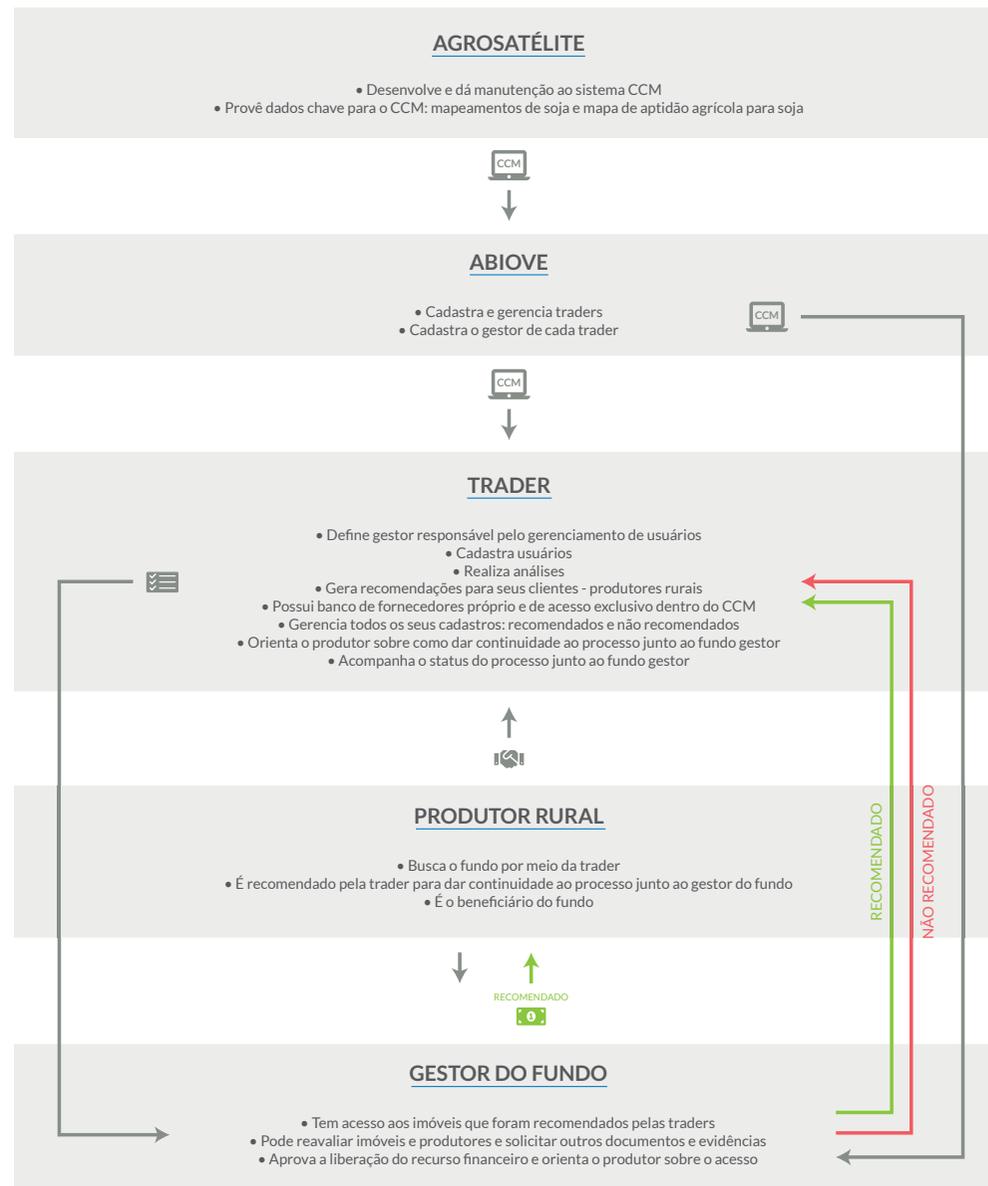


Figura 28. Representação esquemática dos papéis de cada envolvido e da relação entre os diferentes atores que interagem entre si e com o sistema CCM.

Ao acessar o sistema, o usuário tem contato com um amplo conjunto de mapas, muitos dos quais foram preparados no âmbito desse projeto. Dois exemplos são o mapa de soja da safra 2018/19 e o mapa de aptidão agrícola para a soja. A Figura 29 mostra a tela de entrada, que é a visão do usuário da trader ao acessar o sistema.

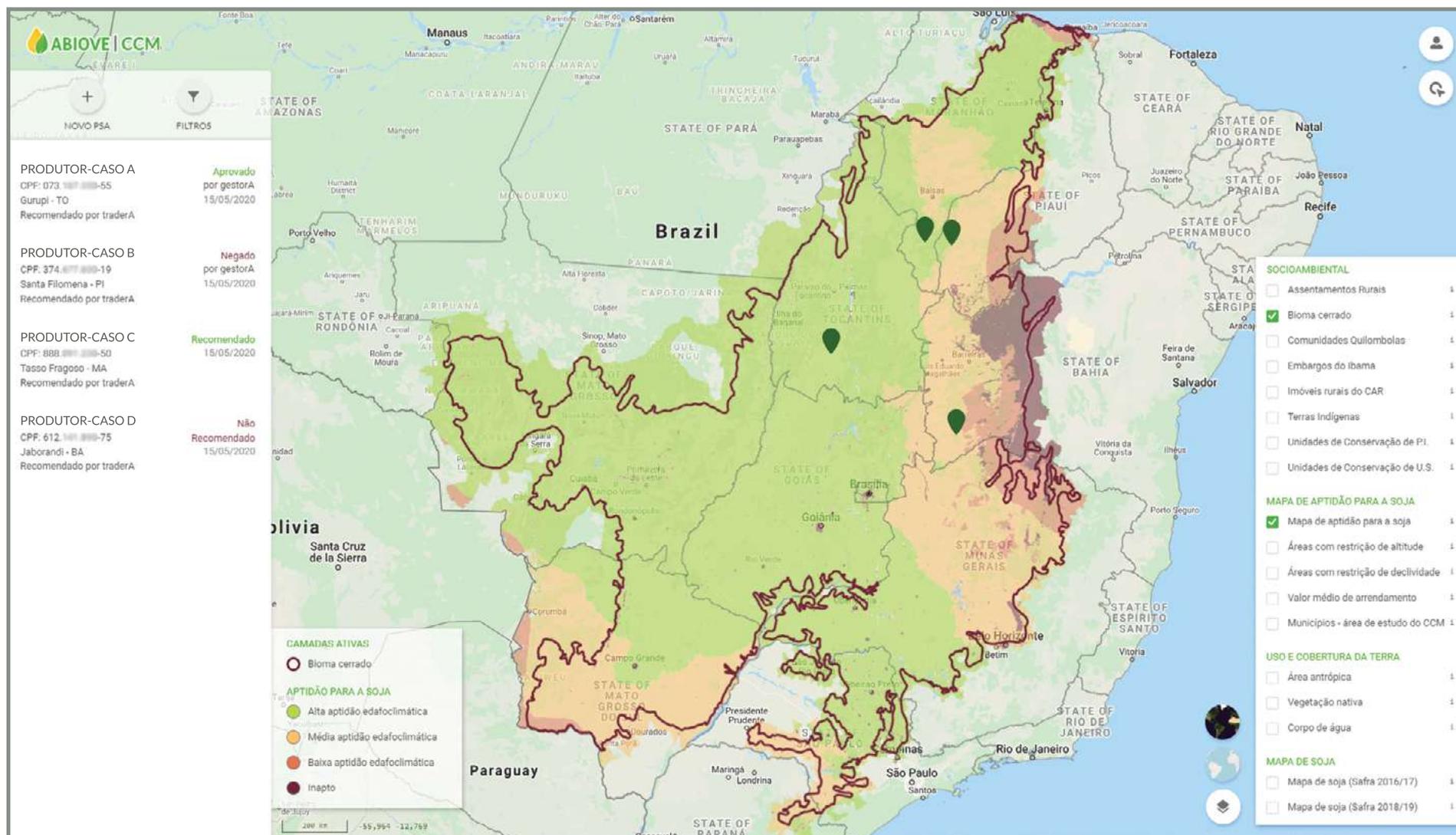


Figura 29. Tela inicial do sistema, destacando as camadas de aptidão agrícola para a soja e o limite do bioma Cerrado (vide painel da direita). No painel da esquerda encontram-se os imóveis cadastrados pela trader em diferentes status. Nos exemplos indicados na lista: i) Produtor caso A indica um caso em que o cadastro do imóvel de um proprietário foi avaliado e recomendado pela trader, com aprovação pelo gestor do fundo; ii) Produtor caso B indica um caso em que a trader avaliou e recomendou o cadastro, mas o processo foi negado pelo gestor do fundo; iii) Produtor caso C indica um caso em que a trader avaliou e recomendou o cadastro, mas que ainda não foi avaliado pelo gestor do fundo; e iv) Produtor caso D indica um caso em que a trader avaliou mas não recomendou o cadastro por não se enquadrar ao mecanismo – nessa situação, o processo não é encaminhado ao gestor do fundo.

Para cadastrar um novo imóvel requerente do fundo de compensação financeira, o usuário da trader é direcionado para um ambiente em que são exigidas informações básicas do imóvel, como o código do CAR, o nome e o CPF do proprietário e o limite georreferenciado da Autorização para Supressão Vegetal (ASV) em formato KML. É requisito obrigatório anexar o documento da ASV proveniente do órgão oficial competente, vide Figura 30

**Volta**  
Avaliação de PSA

**NOVO**

**IMÓVEL REJRAI**

CPF/CNPJ:  
052.878.989-53

Nome do proprietário:  
PRODUTOR - CASO E

Número do CAR:  
TO-1712702-  
F28ECFBDA31

Alterar...

**AUTORIZAÇÃO DE SUPRESSÃO VEGETAL**

Envie um arquivo de geometria KML com a especificação dos limites de ASV.

Geometria  
Geometria selecionada ✓

Alterar geometria

Documento  
Documento selecionado ✓

Alterar Documento

**CAMADAS ATIVAS**

- Bioma cerrado
- Mapa de soja (Safr 2018/19)

**ÁREAS DO PSA**

- Imóvel
- Área ASV
- Área de soja 2016/17
- Área de soja 2017/18

Avançar

1000 m | -46,434 | -16,974

STATE OF TOCANTINS  
STATE OF BAHIA

Figura 30. Tela de cadastro de um imóvel requerente de compensação financeira no CCM.

Ao concluir o cadastro, o sistema realiza automaticamente uma série de verificações, que vão desde um checklist de conformidade socioambiental do imóvel e do CPF/CNPJ do produtor, passando pela confirmação de que se trata de um imóvel que cultiva soja, de acordo com os mapas de soja das safras 2016/17 e 2018/19 até a avaliação de aptidão agrícola para a soja no imóvel e na ASV, conforme Figura 31.

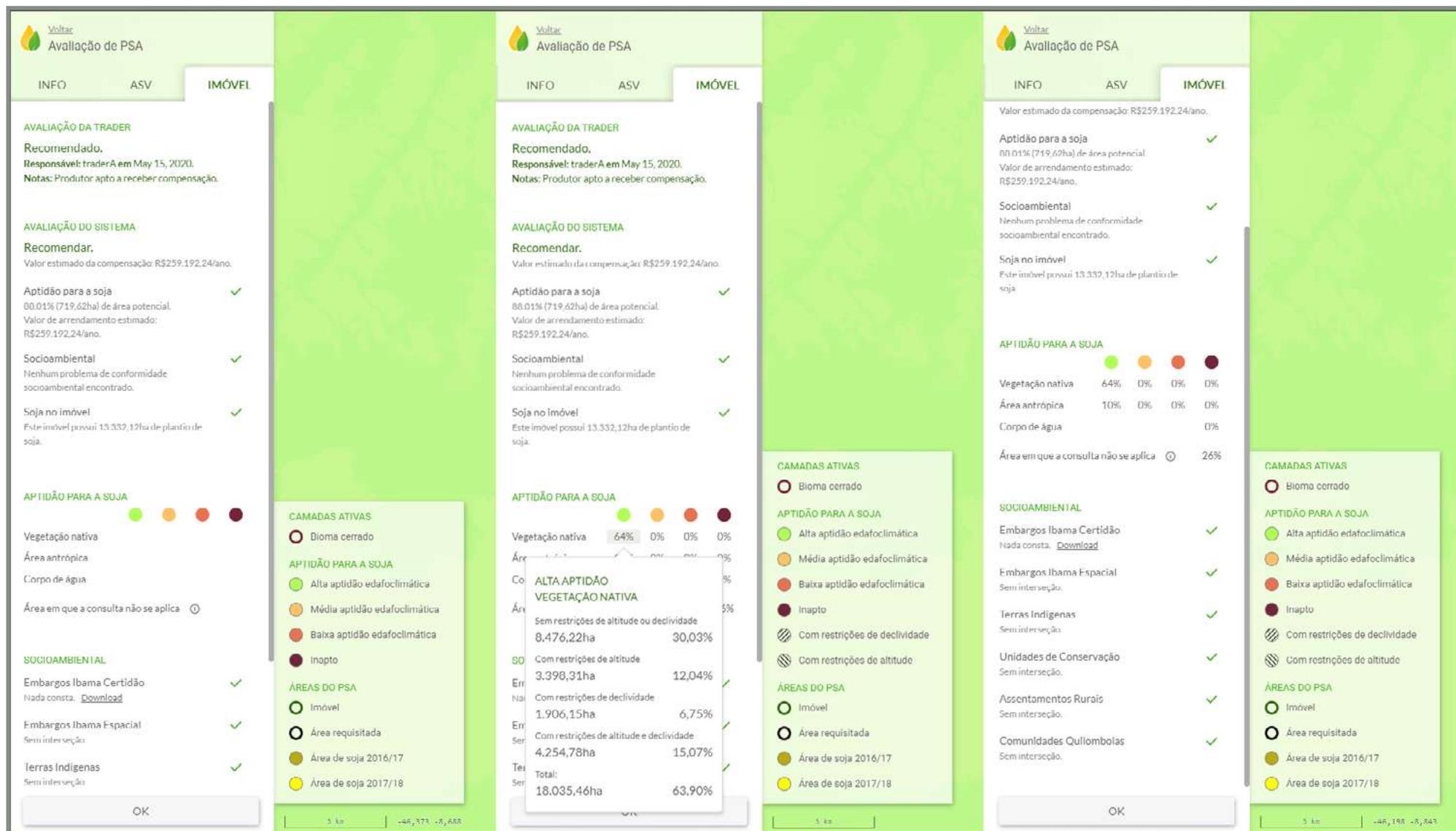


Figura 31. Síntese dos resultados da verificação de elegibilidade ao mecanismo de compensação financeira - CCM para o imóvel de um suposto produtor de soja cadastrado e verificado pela trader.

Ao final do processo de verificação de elegibilidade, o sistema oferece um resultado automático, indicando se o cadastro avaliado deve ou não ser recomendado para o gestor do fundo. Essa recomendação automática precisa ser confirmada manualmente pelo usuário da trader. Para os casos em que o sistema recomenda o cadastro avaliado, o sistema calcula automaticamente o valor da compensação financeira a ser paga ao produtor com base na área elegível em hectares e no valor de referência para o custo de oportunidade da terra, que pode ser obtido, por exemplo, pelo custo de arrendamento médio em cada município, atualizado com base em pesquisas.

A tela inicial do sistema para o gestor do fundo ao CCM é bastante semelhante a do usuário da trader. Esse gestor, porém, apenas visualiza e aprova os cadastros recomendados pelas traders. Ao usuário gestor não é oferecido o ambiente de cadastro de novas solicitações de compensação financeira, o que é uma prerrogativa exclusiva das traders. Por outro lado, o gestor do fundo possui acesso aos processos de compensação avaliados e recomendados por cada uma das traders no CCM, de modo que um cadastro recomendado pela trader fica disponível para avaliação e aprovação do gestor do fundo, conforme Figuras 32 e 33.

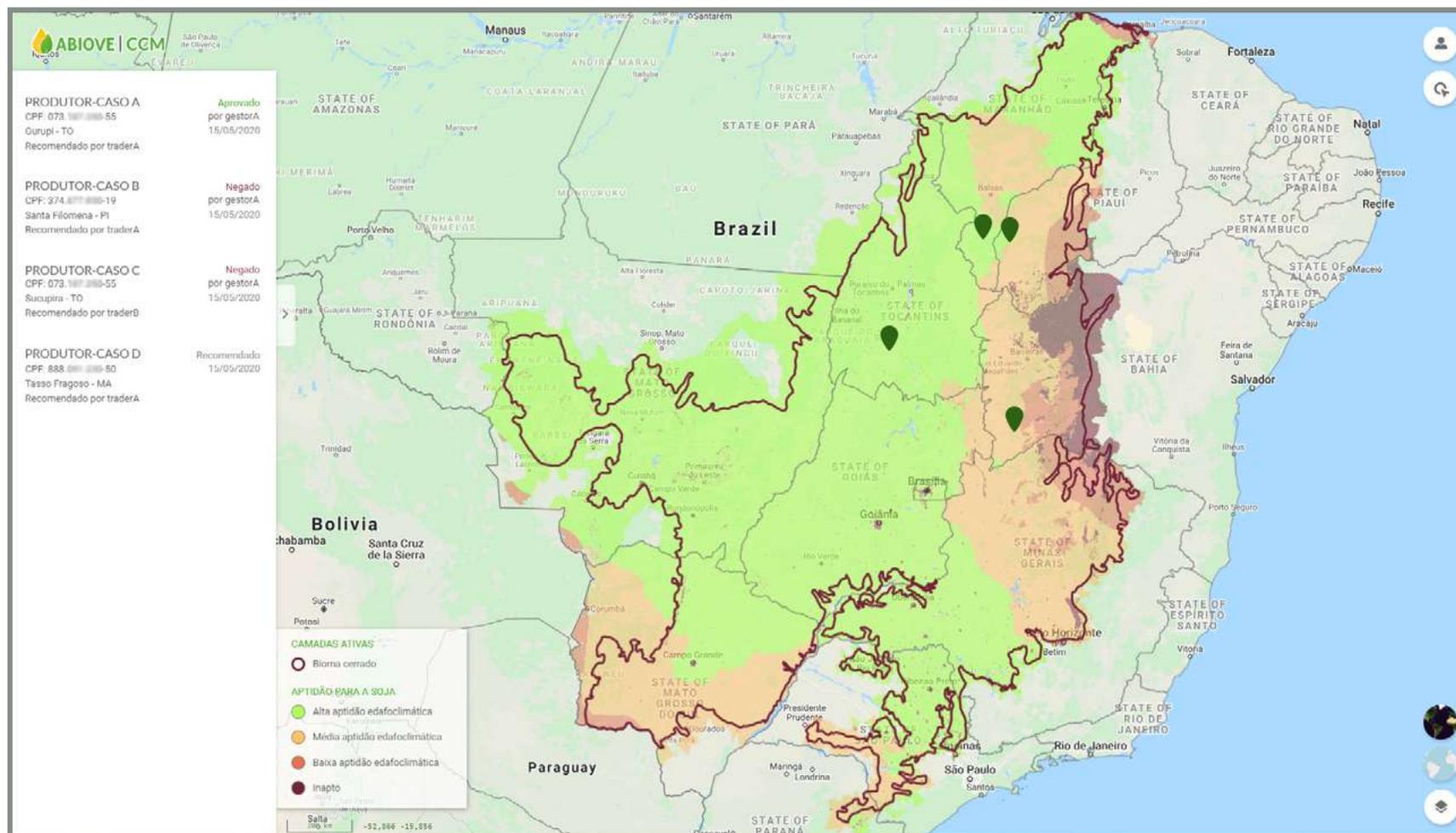


Figura 32. Tela inicial acessível ao usuário do gestor do fundo com a lista dos cadastros recomendados pelas traders, indicando o status de cada processo. Nos exemplos listados acima: i) Produtor caso A, indica um cadastro recomendado pela Trader A e aprovado pelo gestor do fundo; ii) Produtor caso B e Produtor Caso C são cadastros recomendados pelas Traders A e B, respectivamente, em que ambos não foram aprovados pelo gestor do fundo; e iii) Produtor caso D indica um cadastro que foi recomendado pela Trader A, mas que ainda não teve o processo avaliado pelo gestor do fundo.

O CCM é um sistema robusto e inovador, desenvolvido para viabilizar e simplificar o complexo processo envolvido no mecanismo de compensação financeira e que, ao término dessa etapa inicial, ainda está em fase de discussão e ajustes. Diversas outras funcionalidades estão disponíveis na plataforma – como ferramentas básicas de SIG, filtros, painéis para o cadastro e gerenciamento de traders e de usuários. O CCM está disponível na internet por meio do endereço <https://psacerrado.com.br>. Espera-se que, com a operacionalização do mecanismo de compensação financeira para os produtores de soja do bioma Cerrado e com o levantamento dos recursos necessários para compor o fundo, o sistema venha contar, no futuro, com uma página de apresentação do projeto e versões em outros idiomas, a exemplo do inglês.

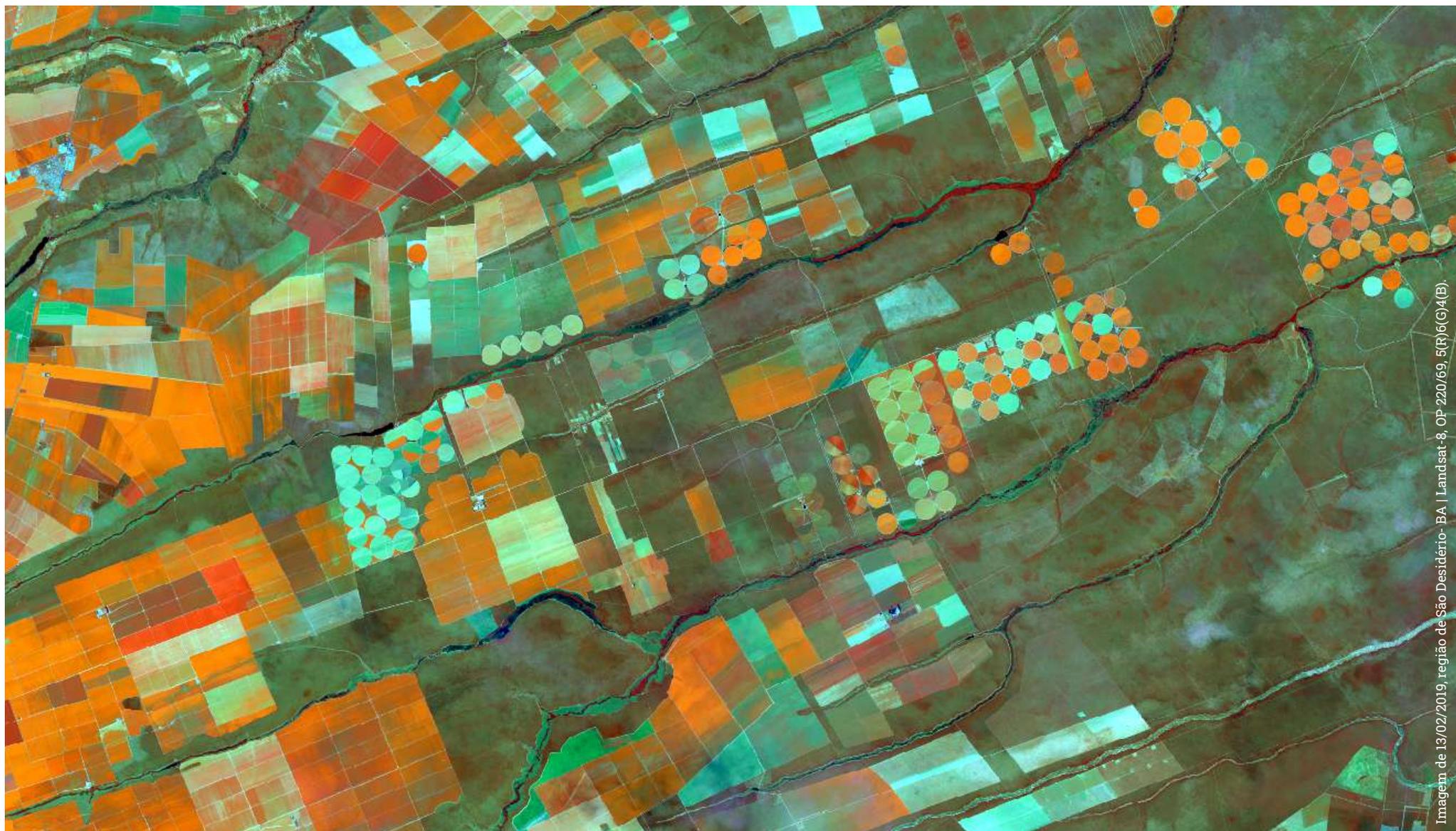


Imagem de 13/02/2019, região de São Desidério- BA | Landsat-8, OP 220/69, 5(R)6(G)4(B).



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O bioma Cerrado ocupa uma posição de destaque na produção brasileira de soja, com 51% da área cultivada no país atualmente. De 2000/01 a 2018/19, a produção de soja no bioma triplicou, como resultado da expansão de 2,4 vezes da área plantada e aumento de 30% na produtividade.

O estudo da dinâmica da expansão das lavouras no Cerrado identificou aspectos temporais e territoriais distintos. Na região denominada Outros Estados, onde se encontra 77% da área plantada de soja no bioma, há uma tendência de redução na expansão da cultura com desmatamento desde o início do milênio. No Matopiba, o significativo crescimento das lavouras de 2006/07 a 2013/14 elevou o desmatamento associado à soja, porém houve uma notável desaceleração no período mais recente de 2013/14 a 2018/19. Atualmente, o bioma tem 95,74 Mha de área antropizada, o equivalente a 46,8% de sua cobertura. Desse total, 26,14 Mha são pastagens aptas para o cultivo de soja – e será preciso apenas um quinto dessa área para comportar o próximo ciclo de expansão da soja sem desmatamento, considerando uma taxa média de expansão igual à do período de 2014 a 2018, de 0,52 Mha/ano, semelhante a taxa adotada nas projeções de longo prazo do MAPA.

A implementação de políticas de mercado que incentivem a redução da pegada de soja associada ao desmatamento, uma tendência atual, pode conduzir essa cadeia produtiva para uma condição futura de desmatamento zero no Cerrado. Contudo, a diversidade territorial no bioma impõe alguns desafios. Nos Outros Estados, a área apta de pastagem é suficiente para manter por mais de meio século a taxa média de expansão para a região, de 0,37 Mha/ano. No Matopiba, à primeira vista, as pastagens aptas à produção de soja se esgotariam mais rapidamente, em aproximadamente duas décadas, mantida a taxa média de expansão de 0,15 Mha/ano. É importante considerar, porém, que quase todas as pastagens aptas dessa região se concentram no Tocantins. Desse modo, os estados do Piauí, Bahia e Maranhão, nos quais a sojicultura está em franca expansão, têm capacidade limitada na manutenção da expansão da sojicultura sem avançar sobre áreas aptas de vegetação nativa.

Como marco importante das medidas para eliminar o desmatamento da cadeia de produção da soja, está sendo formulado um mecanismo de compensação financeira aos agricultores que se comprometerem com a preservação do excedente de vegetação nativa. Nos quase 130 mil imóveis sojicultores do bioma Cerrado esse excedente totaliza 4,41 Mha. Para isso, foi desenvolvido no âmbito desse estudo um sistema de avaliação dos requisitos de

elegibilidade e de gestão georreferenciada dos imóveis requerentes, disponível na internet no endereço <https://psacerrado.com.br>.

O estudo mostrou que a expansão horizontal da soja se dá em grande parte pela incorporação de novas áreas ao sistema produtivo, provenientes tanto da conversão de vegetação nativa quanto de pastagens, constituindo, nesse último caso, uma intensificação do uso da terra. A segunda safra, cada vez mais presente nas culturas de milho e algodão, também exerce papel importante na redução da demanda por novas áreas. Trata-se de uma tendência de intensificação do uso da terra a ser considerada em novos estudos. Outra recomendação consiste na análise do perfil das áreas de pastagens que estão sendo convertidas para soja e sua conexão com o processo de ganho de produtividade na pecuária. Isso pode fomentar iniciativas voltadas para a produção de soja livre de desmatamento que sejam interligadas às demais cadeias produtivas, como a da pecuária em sistemas lavoura-pecuária ou lavoura-pecuária-floresta.

O monitoramento anual das lavouras de soja no bioma Cerrado é imprescindível para a formulação e na implementação de mecanismos para dar sequência à mitigação – ou até mesmo eliminação – da produção de soja em desmatamentos recentes.

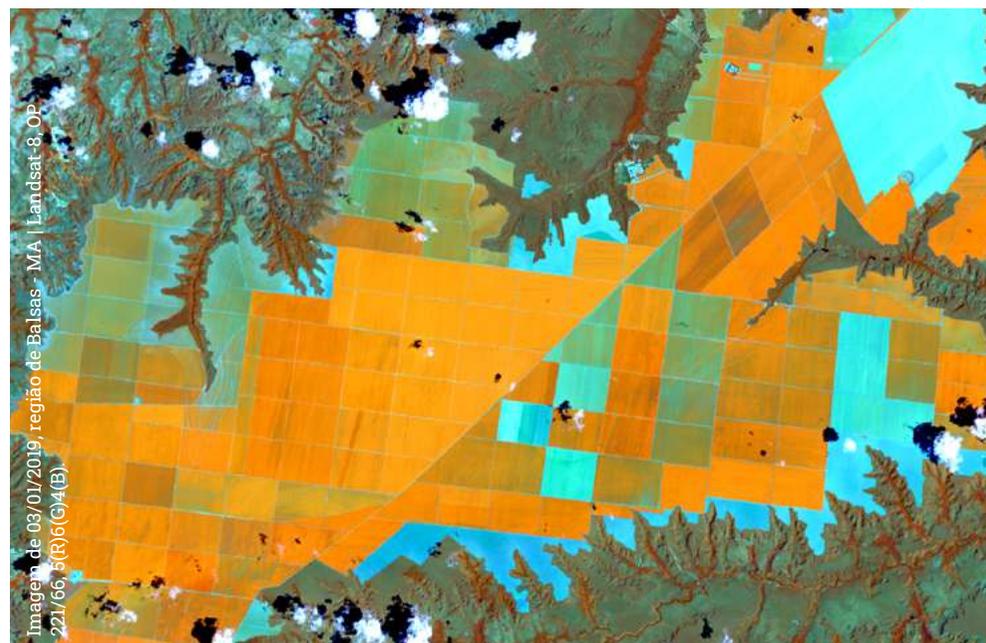


Imagem de 03/01/2019, região de Balsas - MA | Landsat - 8 - OP 221/66\_6(R)6(G)4(B)



agrosatélite

AGROSATELITE.COM.BR



ABIOVE.ORG.BR



ISBN: 978-85-991465-1-0



9 786599 146510