



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Disponibilização da série histórica de supressão da vegetação em áreas originalmente constituídas por fitofisionomias não florestais no bioma Amazônia

**Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas – PAMZ+
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Atualizado em 29/03/2023

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Claudio Aparecido de Almeida

Cassiano Gustavo Messias

Marcos Adami

Luís Eduardo Pinheiro Maurano

Luciana de Souza Soler

Esse documento do Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição-Compartilha Igual 4.0 Internacional.



Índice

1. Introdução	6
2. Metodologia	8
2.1 Padronização da equipe e adequações na metodologia PRODES.....	8
2.2 Seleção e pré-processamento de imagens.....	9
2.3 Mapeamento, auditoria e pós-processamento.....	10
3. Apresentação dos resultados	11
5. Agradecimentos.....	25
6. Disponibilização.....	25
7. Referências bibliográficas.....	25

Lista de figuras

Figura 1: Mapa de localização das áreas constituídas por fitofisionomias não florestais e florestais e hidrografia da Amazônia brasileira	7
Figura 2: Requisitos do processo de mapeamento PRODES com implicação na qualidade dos dados produzidos.....	8
Figura 3: Exemplo de detecção de solo exposto devido à supressão de vegetação não florestal natural, no ano de 2002, em Boa Vista - RR. Fonte: Almeida et al. (2022b). ..	10
Figura 4: Exemplo de mapeamento de áreas em que houve supressão de vegetação não florestal natural, detectada na imagem com feição de área urbana (à esquerda) e de agricultura (à direita), no ano de 2002, em Boa Vista - RR. Fonte: Almeida et al. (2022b).....	11
Figura 5: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação nativa não florestal no bioma Amazônia até 2021.	12
Figura 6: Série histórica dos valores anuais de área de supressão da vegetação não florestal natural na Amazônia.	13
Figura 7: Contribuição das diferentes Unidades Federativas em área de supressão da vegetação não florestal natural na Amazônia até 2021.....	13
Figura 8: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Acre.	14
Figura 9: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Amazonas.	15
Figura 10: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Amapá.....	16
Figura 11: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Maranhão.	17
Figura 12: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Mato Grosso.	18
Figura 13: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Pará.....	19
Figura 14: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal em Rondônia.....	20



Figura 15: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal em Roraima.....	21
Figura 16: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Tocantins.	22

Lista de tabelas

Tabela 1: Valores de incremento de supressão da vegetação não florestal natural na Amazônia, por Unidade Federativa e ano de detecção	23
---	----

Disponibilização da série histórica de supressão da vegetação em áreas originalmente constituídas por fitofisionomias não florestais no bioma Amazônia

1. Introdução

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realiza o monitoramento da cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira (ALB) desde 1988, baseado em imagens de sensoriamento remoto, através do Programa de Monitoramento da Amazônia Brasileira por Satélites (PRODES). As competências e a experiência do INPE nas áreas de observação da terra por sensoriamento remoto, ciências da vegetação e no desenvolvimento de sistemas de gerenciamento e de processamento de dados geográficos, conferem ao Instituto um papel central no monitoramento das florestas tropicais, tornando sua metodologia e seus resultados referências mundiais.

As florestas e savanas tropicais do Brasil fornecem serviços ecossistêmicos essenciais. O bioma Amazônia, que cobre cerca de 40% do território nacional, tem um papel fundamental na regulação do estoque de carbono, no equilíbrio climático regional e mundial, e apresenta uma grande contribuição para a biodiversidade. Isso evidencia a importância da conservação dos seus recursos naturais e do planejamento do seu desenvolvimento. O monitoramento contínuo ou sistemático da cobertura da terra fornece informações imprescindíveis para embasar e monitorar políticas públicas voltadas à proteção do meio ambiente e ao desenvolvimento de atividades econômicas sustentáveis, e para apoiar as ações de fiscalização e de gestão dos recursos naturais.

A recente aceleração da degradação dos recursos naturais no Brasil, como indicada pelo aumento das taxas de desmatamento anuais na ALB e da frequência e intensidade dos incêndios florestais, gerou preocupação na comunidade científica, na sociedade civil e no setor privado, e colocou o Brasil no centro das atenções internacionais quanto à meta de redução das emissões de gás de efeito estufa e aos compromissos de desenvolvimento sustentável de atividades econômicas na região. Os dados do PRODES apontam que o desmatamento atingiu 838.308,9 km² das áreas constituídas por fitofisionomias florestais na ALB até 2022, o que corresponde a 21,2 % das florestas da região.

Por outro lado, o programa de monitoramento da Amazônia até 2021 não havia realizado mapeamentos sistemáticos em fitofisionomias não florestais do bioma. Essas áreas cobrem, porém, cerca de 280 mil km², o que corresponde a 6,6 % da área do bioma (Figura 1) e apresentam tipos de vegetação diversificados, com serviços ecossistêmicos de grande valor e interesses do setor produtivo brasileiro. Os mapas

existentes de cobertura da terra nessas áreas são escassos, descontínuos, não sistemáticos ou incompletos.

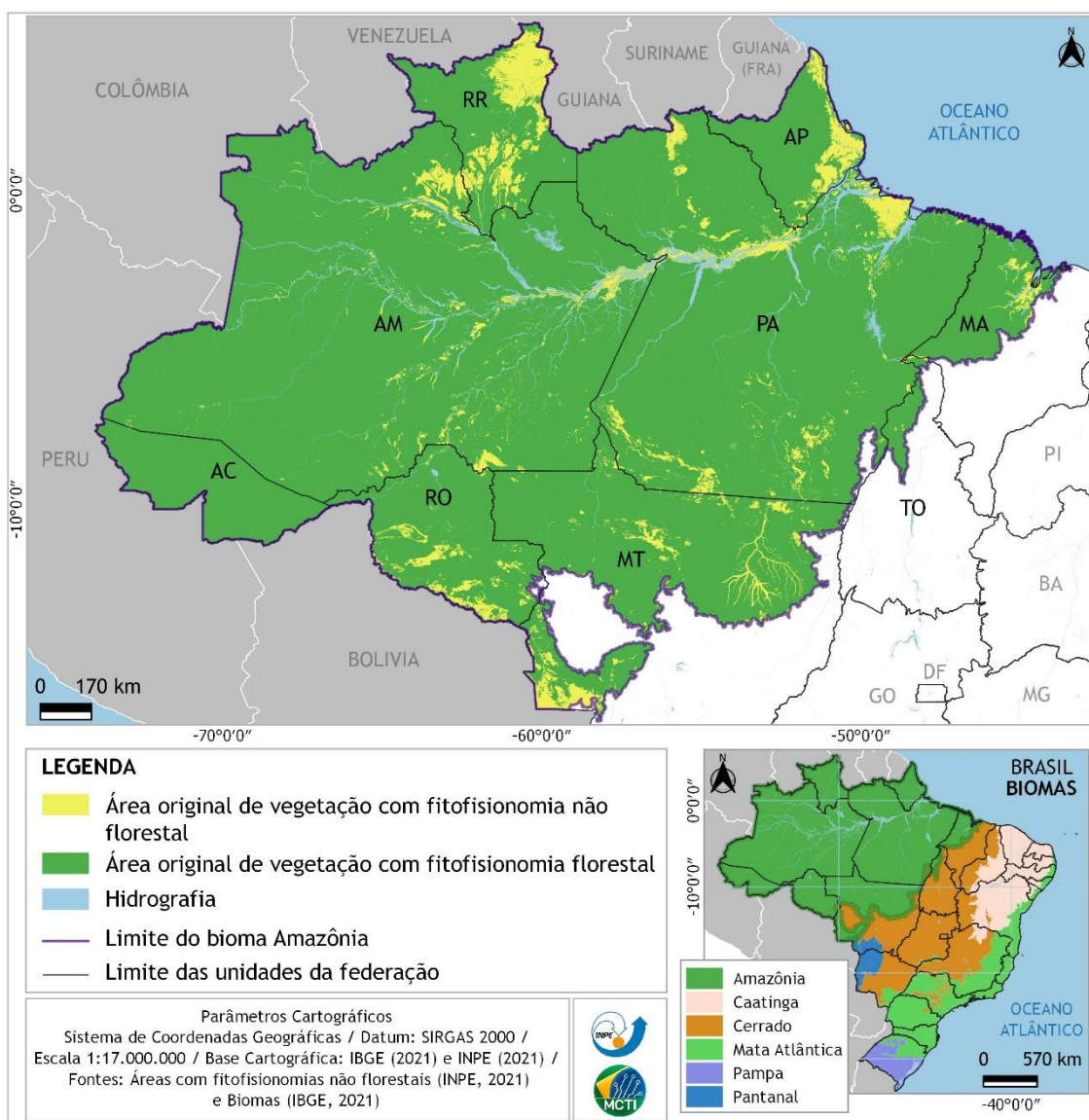


Figura 1: Mapa de localização das áreas constituídas por fitofisionomias não florestais e florestais e hidrografia da Amazônia brasileira.

Para atender as demandas da sociedade brasileira, da comunidade científica nacional e internacional, das autoridades e dos parceiros do setor produtivo, o INPE iniciou o monitoramento sistemático das fitofisionomias não florestais do bioma Amazônia e gerou uma série histórica de dados de supressão de vegetação não florestal a partir de 2000. Esta nota técnica tem como objetivo apresentar os resultados deste mapeamento.

2. Metodologia

2.1 Padronização da equipe e adequações na metodologia PRODES

O mapeamento e a construção da série histórica de supressão da vegetação natural em áreas de não floresta foi realizado pela equipe técnica que atua no programa PRODES Amazônia, com apoio também da equipe PRODES Cerrado. Embora a metodologia tradicional do PRODES (ALMEIDA et al, 2022a) tenha sido tomada como base, foram necessárias adequações metodológicas para realizar a detecção da supressão da vegetação não florestal natural na Amazônia. Para tanto, foi realizado um levantamento bibliográfico e cartográfico referente à caracterização das fitofisionomias não florestais presentes na Amazônia, bem como à identificação de evidências de remoção da vegetação nativa nestes locais por meio de imagens orbitais. Alguns especialistas em vegetação também foram convidados e auxiliaram na criação de chaves de interpretação e na formação e padronização da equipe de analistas e auditores.

Todo o processo de mapeamento e pós-processamento dos dados foi realizado no ambiente TerraAmazon, desenvolvido pelo INPE em parceria com a Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais (FUNCATE). Este software é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) multi-usuários e multi-editores, com controle de acesso, que permite gerenciamento de projeto e operações espaciais, e possui ferramentas de processamento de imagem, edição vetorial, análise espacial e classificação da cobertura da Terra.

A Figura 2 apresenta um resumo das etapas de produção de dados de supressão da vegetação nativa não florestal na Amazônia.

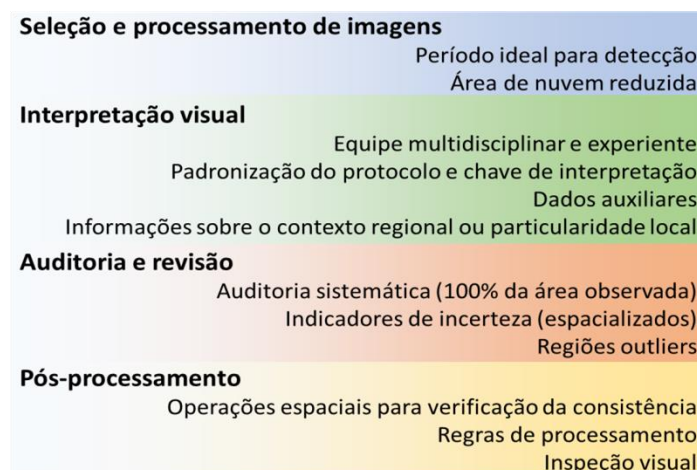


Figura 2: Requisitos do processo de mapeamento PRODES com implicação na qualidade dos dados produzidos.

2.2 Seleção e pré-processamento de imagens

A metodologia PRODES (ALMEIDA et al., 2022a) utiliza a interpretação visual de imagens compatíveis com as geradas pelos satélites da série Landsat da NASA/USGS (EUA), chamadas de “imagens da classe Landsat”. Essas imagens se caracterizam por uma resolução espacial na faixa de 20-30 metros e, pelo menos, três bandas espectrais na região visível e infravermelho.

Assim como o PRODES tradicionalmente trabalha nas áreas constituídas por fitofisionomias florestais, o mapeamento em áreas não florestais é realizado com referência na área (órbita/ponto) das cenas Landsat. São necessárias 184 cenas para completar todas as áreas constituídas por fitofisionomias não florestais no bioma.

Como a maior parte das atividades de supressão na Amazônia ocorrem durante a estação seca, e a larga extensão longitudinal faz com que o período de ocorrência desta estação varie, a metodologia PRODES (Almeida et al. 2022a) estabelece um período ideal para o mapeamento em cada órbita / ponto Landsat.

De 2000 a 2014, os incrementos de supressão de vegetação não florestal foram detectados por meio de imagens dos sensores *Thematic Mapper* (TM), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) e *Operational Land Imager* (OLI), a bordo, respectivamente, dos satélites Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8. Foi adotada como composição colorida principal a 5R/4G/3B (produtos TM e ETM+), onde a banda 5 corresponde ao canal do infravermelho médio, banda 4 ao infravermelho próximo e banda 3 ao vermelho. No caso dos produtos OLI, a mesma composição é gerada pela combinação 6R/5G/4B. Nela, a vegetação pode ser visualizada em tons de verde. A composição colorida 4R/5G/3B (no caso, TM e ETM+), cuja vegetação é vista em tons de vermelho, foi utilizada como auxiliar. Os contrastes foram ajustados por meio de operações nos histogramas de cada banda e da análise visual dos produtos.

No caso de elevada recorrência de nuvem durante todo o período ideal, podem ter sido utilizadas imagens de duas datas distintas. Neste caso, todo o mapeamento foi realizado ao longo de uma imagem principal, e, os locais com cobertura de nuvens nesta imagem foram observados por meio de uma imagem secundária. As áreas de intersecção de nuvem na imagem principal e na secundária foram classificadas como área não observada.

De 2016 em diante, foram empregadas imagens do sensor *Multi-Spectral Instrument* (MSI), dos satélites Sentinel-2A e 2B (ESA), devido à maior resolução temporal. Foi empregada a composição colorida 11R/8G/4B (onde 11 é a banda do infravermelho de ondas curtas, 8 do infravermelho próximo e 4 do vermelho) como principal, e a 8R/11G/4B como auxiliar. As composições coloridas Sentinel foram exportadas resolução espacial de 20 metros. Por ter uma maior resolução temporal, foi possível obter um maior número de imagens e compor um mosaico com menor cobertura de nuvens possível e, por isso, salvas raras exceções, não foram empregadas imagens secundárias a partir de 2016. Em média o intervalo entre as imagens nos mosaicos ficou em torno de 30 dias, com valores mínimos e máximos de 1 e 100 dias. Todo polígono de desmatamento gerado a partir de 2016 tem como data a da imagem mais recente do mosaico, e não necessariamente a data exata da imagem na qual ele foi detectado.

Os produtos Landsat e Sentinel são disponibilizados pelos seus provedores com correção geométrica e refinados pelo uso de pontos de controle e de modelos digitais de elevação do terreno. Ou seja, são imagens ortorretificadas no nível mais alto de correção geométrica, prontas para serem analisadas em conjunto com outros dados vetoriais, sem que haja necessidade de processamento adicional, em concordância com as normas cartográficas vigentes.

2.3 Mapeamento, auditoria e pós-processamento

O mapeamento foi realizado por uma equipe de analistas que, por meio da interpretação visual de imagens de satélite, realizou a vetorização de polígonos de supressão diretamente na tela do computador. As escalas de interpretação mínima e máxima foram, respectivamente, 1:125.000 e 1:75.000.

Um primeiro mapeamento, chamado de mapa base, foi produzido para o ano de 2000. Para produzir o mapa base, os analistas compararam imagens do ano de 2000 com imagens auxiliares das décadas de 1980 e 1990. As feições de supressão foram mapeadas sempre com base nas imagens do ano de 2000. As nuvens e suas sombras (área não observada) também foram mapeadas.

De 2002 a 2018, foram detectados os incrementos de supressão bienais (salvo o ano de 2012 que foi substituído por 2013, devido à ausência de imagens Landsat com requisitos mínimos de qualidade). A partir de 2019, passou-se a detectar os incrementos de forma anual. Os incrementos de remoção de vegetação, a partir de 2002, foram identificados através da comparação de pares de imagens, ou seja, a de um determinado ano e a utilizada no ano anterior. Por exemplo, os incrementos de remoção não florestal do ano de 2002 foram mapeados pela comparação de feições identificadas na composição colorida do ano de 2002, em relação à composição utilizada no mapeamento de 2000.

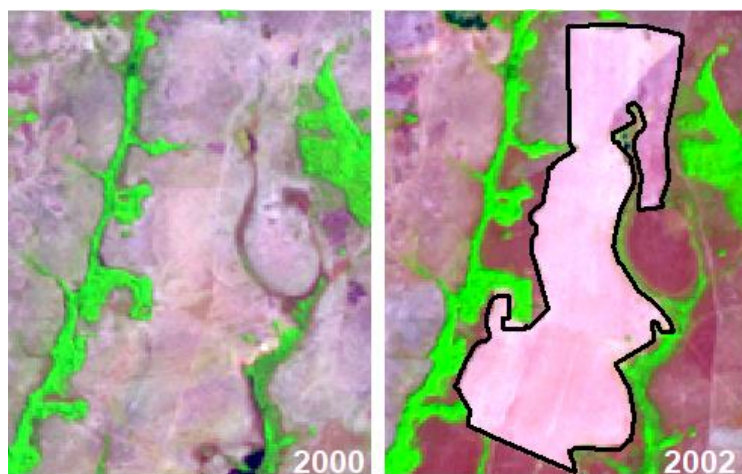


Figura 3: Exemplo de detecção de solo exposto devido à supressão de vegetação não florestal natural, no ano de 2002, em Boa Vista - RR. Fonte: Almeida et al. (2022b).

A detecção visual da supressão da vegetação é possível porque, após ocorrer a remoção da vegetação, há mudança nos valores de reflectância nas três bandas que constituem a composição colorida. A supressão pode ser identificada por meio de feições com solo exposto (Figura 3) ou com outros usos e coberturas que se destacam nas composições coloridas, tais como áreas urbanas, agricultura (Figura 4), silvicultura, pastagens plantadas, mineração e represas.



Figura 4: Exemplo de mapeamento de áreas em que houve supressão de vegetação não florestal natural, detectada na imagem com feição de área urbana (à esquerda) e de agricultura (à direita), no ano de 2002, em Boa Vista - RR. Fonte: Almeida et al. (2022b).

Após a identificação e mapeamento das áreas de supressão, os polígonos detectados foram submetidos ao processo de auditoria. Os auditores realizaram a conferência de todos os polígonos e promoveram ajustes necessários para garantir a qualidade dos dados. Imagens em alta resolução espacial, disponíveis no aplicativo Google Earth ou Planet, foram utilizadas para checar locais ou feições duvidosas.

O pós-processamento foi realizado após auditadas todas as cenas e, nesta etapa, aplicou-se um filtro que eliminou todos os polígonos menores que 1 ha, considerada a área mínima mapeável. Os dados passaram por verificação topológica e foram realizadas correções quando necessário.

3. Apresentação dos resultados

No interior dos 279.492 km² constituídos por fitofisionomias não florestais na Amazônia, foram detectados 28.520,94 km² de supressão até o ano de 2021 – o que corresponde à remoção de 10,2 % da cobertura não florestal original. A Figura 5 mostra a distribuição espacial da supressão de vegetação não florestal natural na Amazônia.

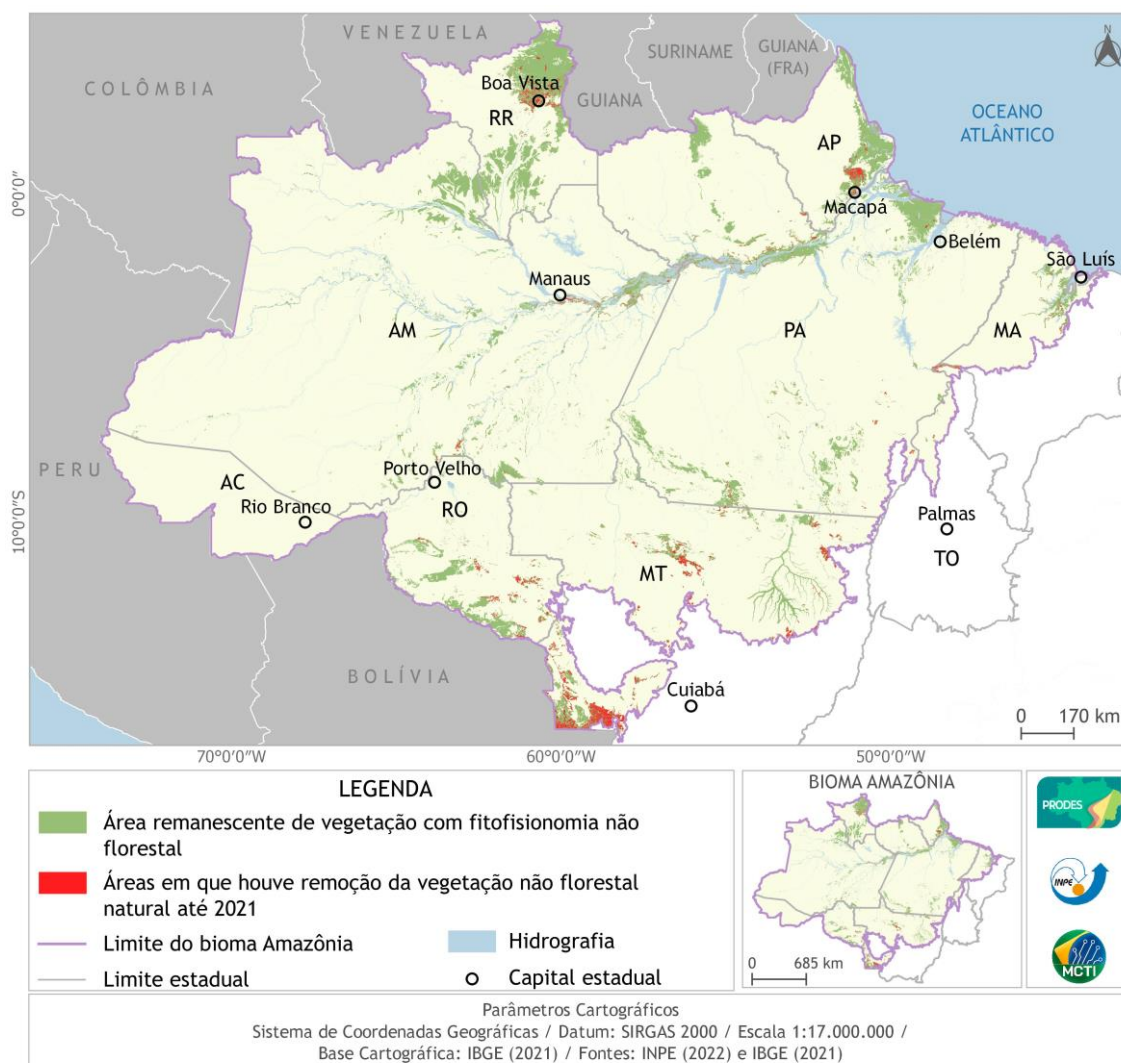


Figura 5: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação nativa não florestal no bioma Amazônia até 2021.

A série histórica dos incrementos anuais mostra que houve níveis elevados de supressão de vegetação não florestal na Amazônia no início dos anos 2000 (Figura 6). O gráfico demonstra que houve importante redução nos valores de supressão entre 2003 e 2013. Após 2014, porém, iniciou-se uma tendência de aumento, a qual se acentuou, em especial, nos três últimos anos da série. Importante destacar que em anos nos quais o mapeamento foi realizado de forma bienal, o valor do incremento foi dividido por dois para a construção do gráfico da série histórica.

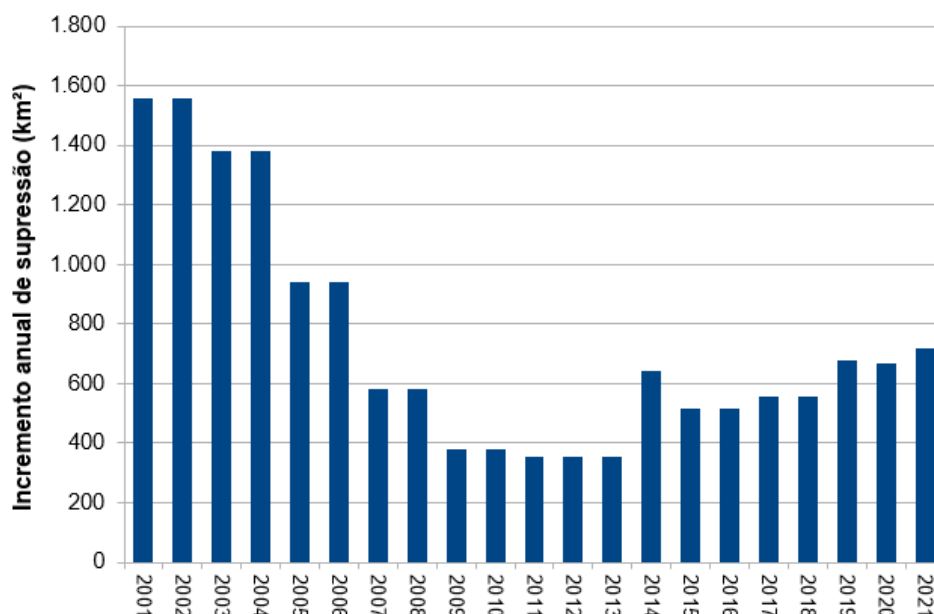


Figura 6: Série histórica dos valores anuais de área de supressão da vegetação não florestal natural na Amazônia.

Mato Grosso concentrou 14.324,89 km² de remoção de vegetação não florestal natural até 2021, o que corresponde a 50,23 % do total de supressão detectada na Amazônia em todo o período. Na sequência, tem-se os estados do Pará, Roraima, Rondônia, Amazonas, Amapá, Maranhão, Tocantins e Acre, nos quais a supressão corresponde, respectivamente, a 11,33 %, 11,31 %, 8,83 %, 7,12 %, 6,80 %, 2,83 %, 1,55 % e 0,02 % do total detectado (Figura 7).

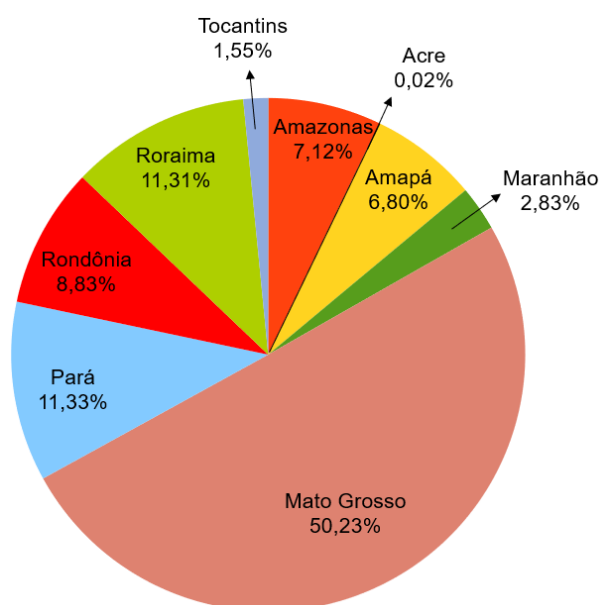


Figura 7: Contribuição das diferentes Unidades Federativas em área de supressão da vegetação não florestal natural na Amazônia até 2021.

As Figuras 8 a 16 apresentam os mapas de supressão da vegetação não florestal natural em cada uma das Unidades Federativas da Amazônia.

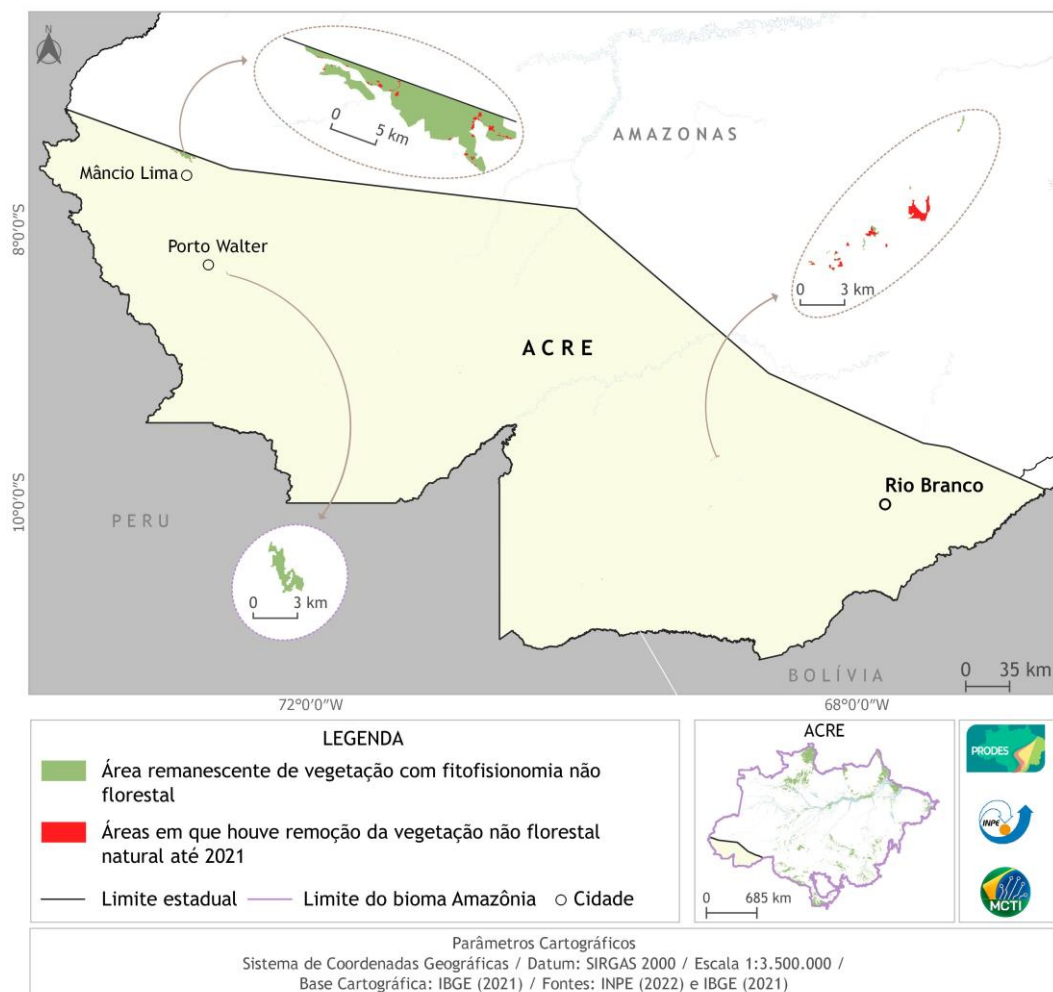


Figura 8: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Acre.

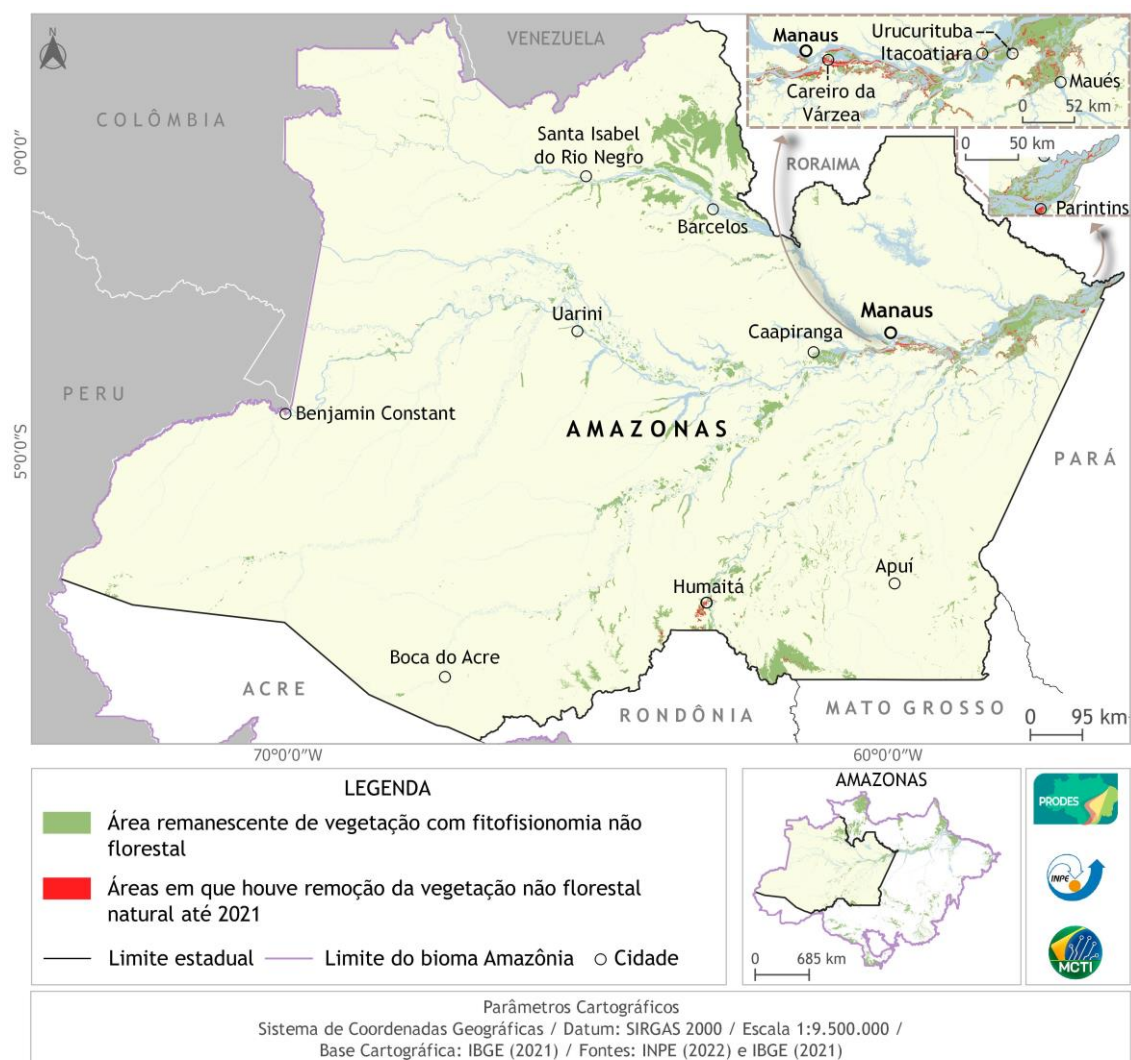


Figura 9: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Amazonas.

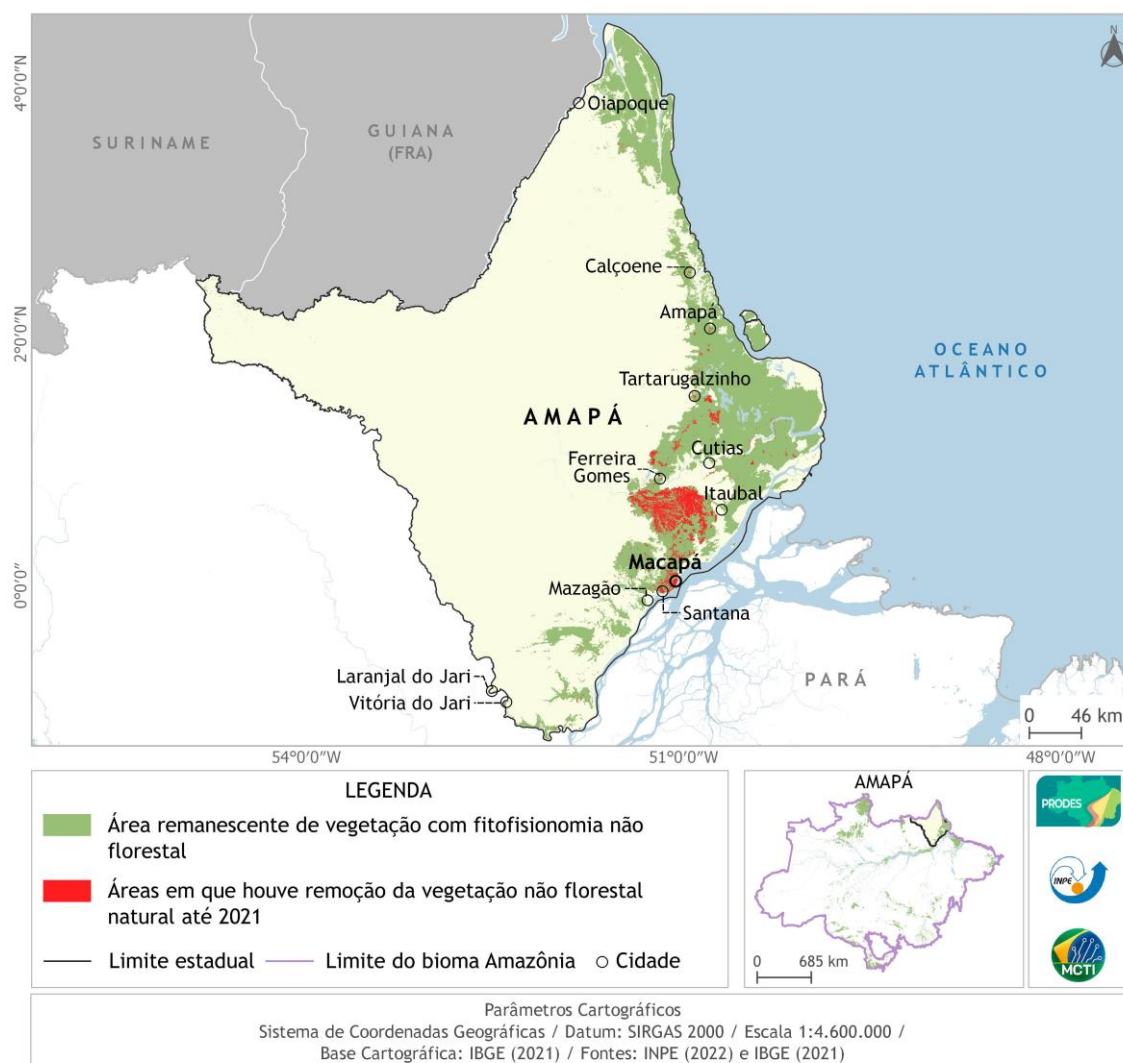


Figura 10: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Amapá.

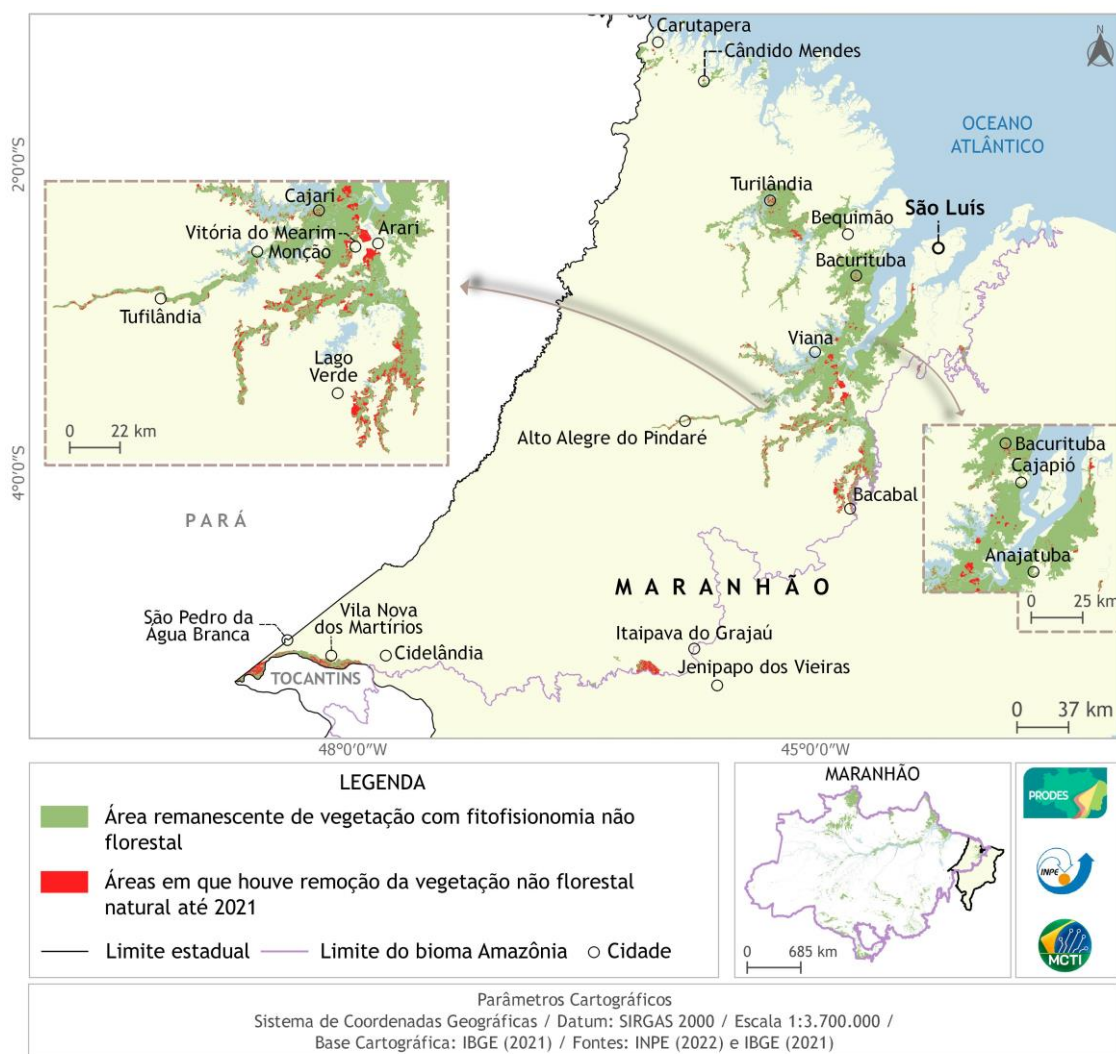


Figura 11: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Maranhão.

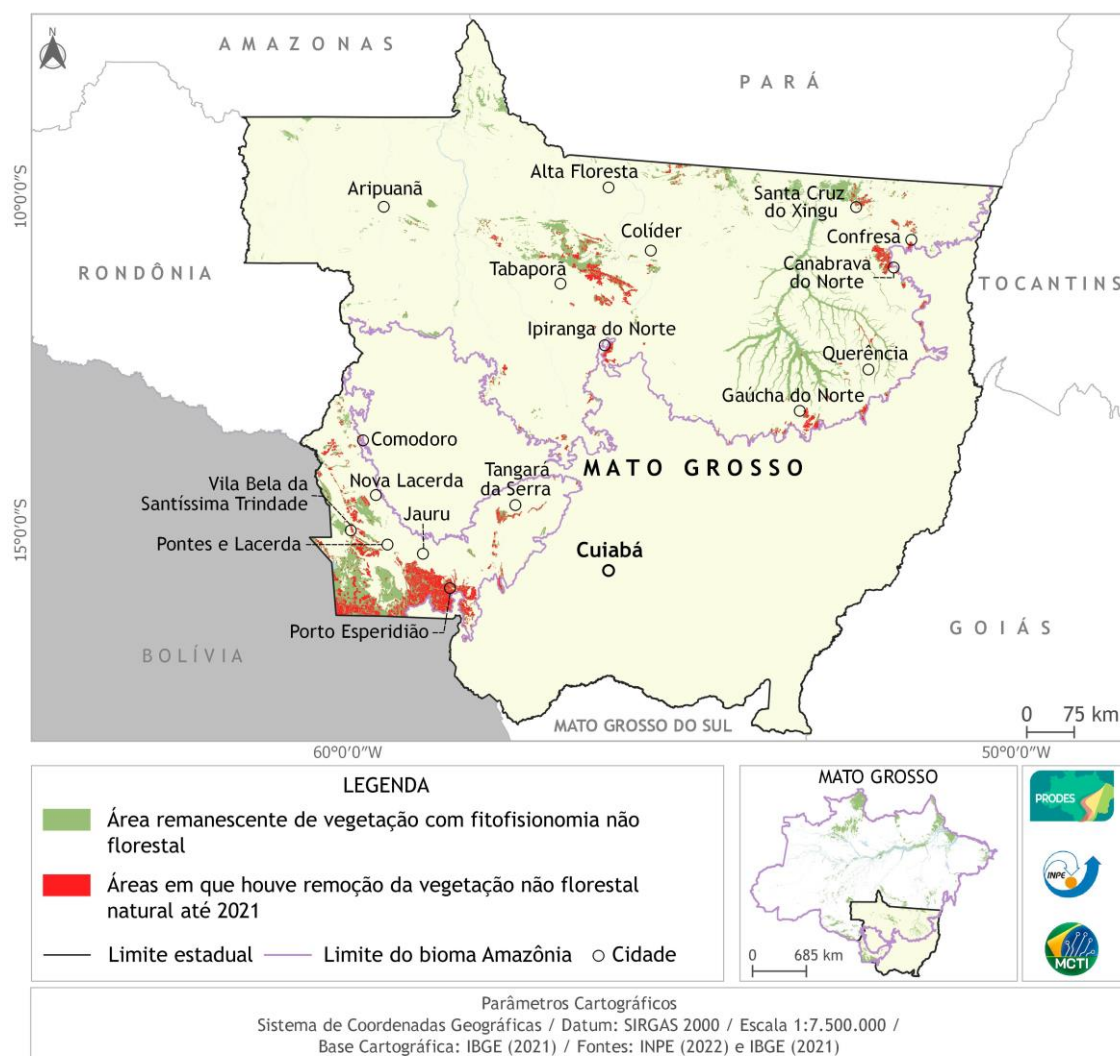


Figura 12: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Mato Grosso.

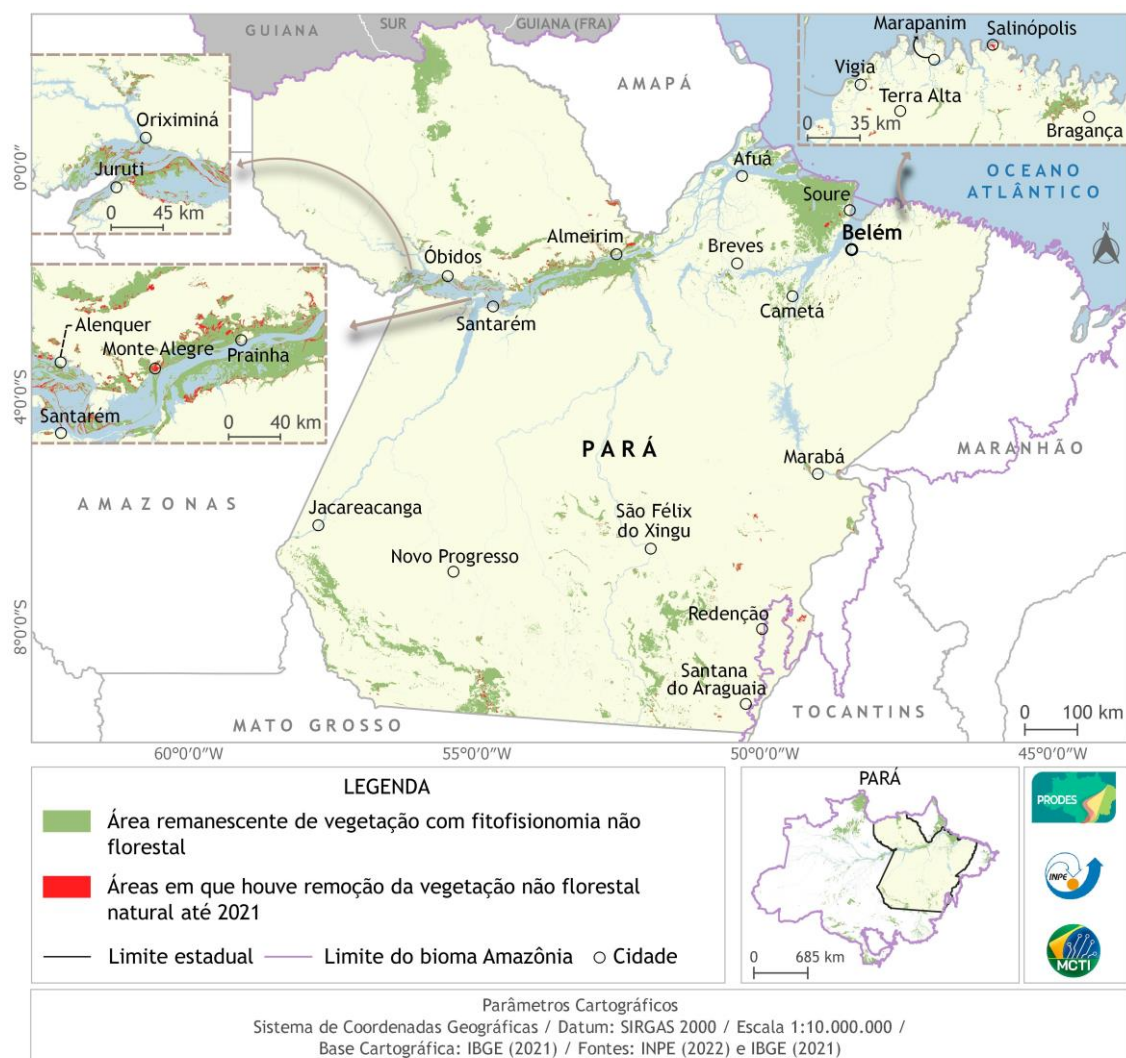


Figura 13: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Pará.



Figura 14: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal em Rondônia.

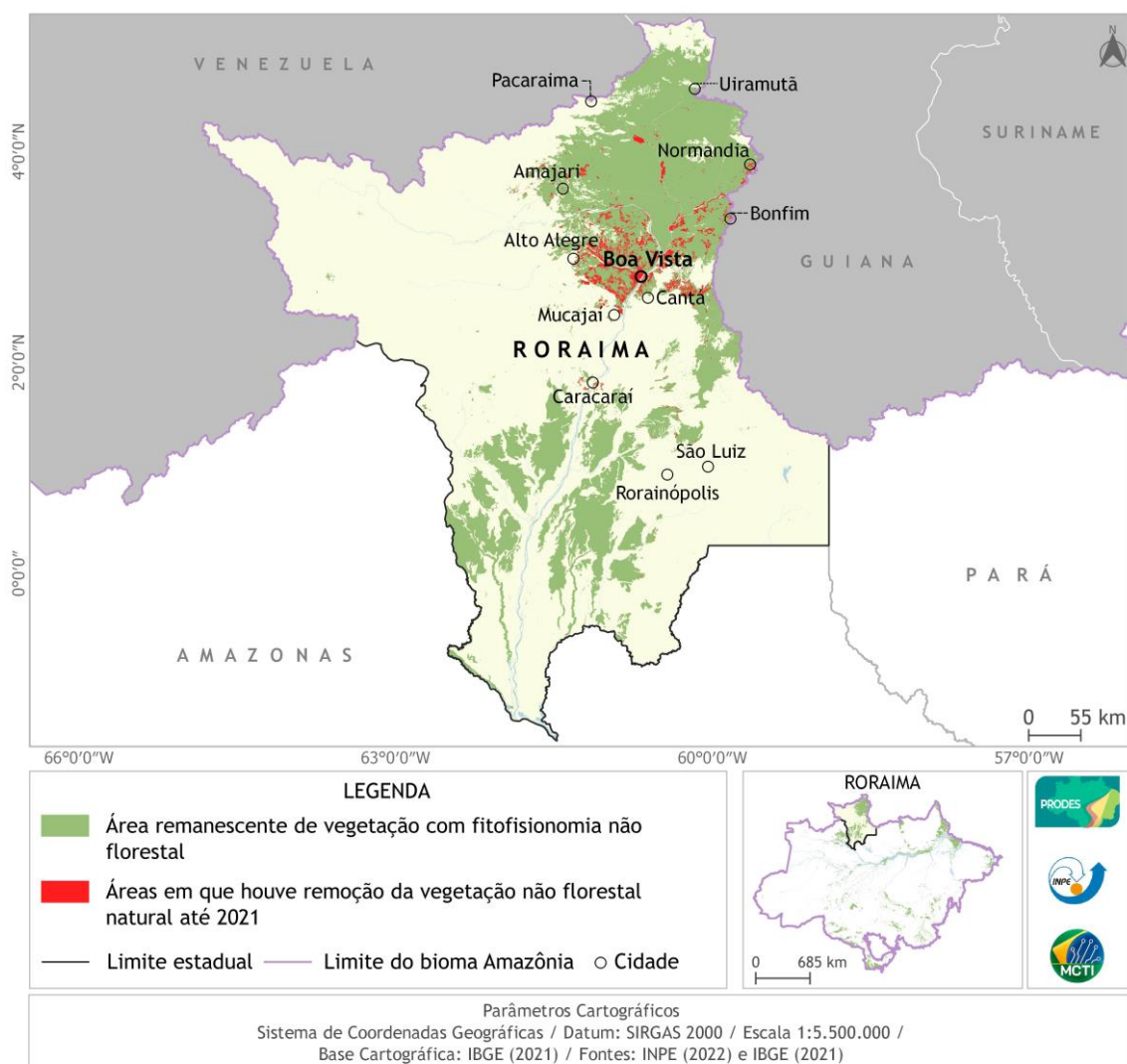


Figura 15: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal em Roraima.

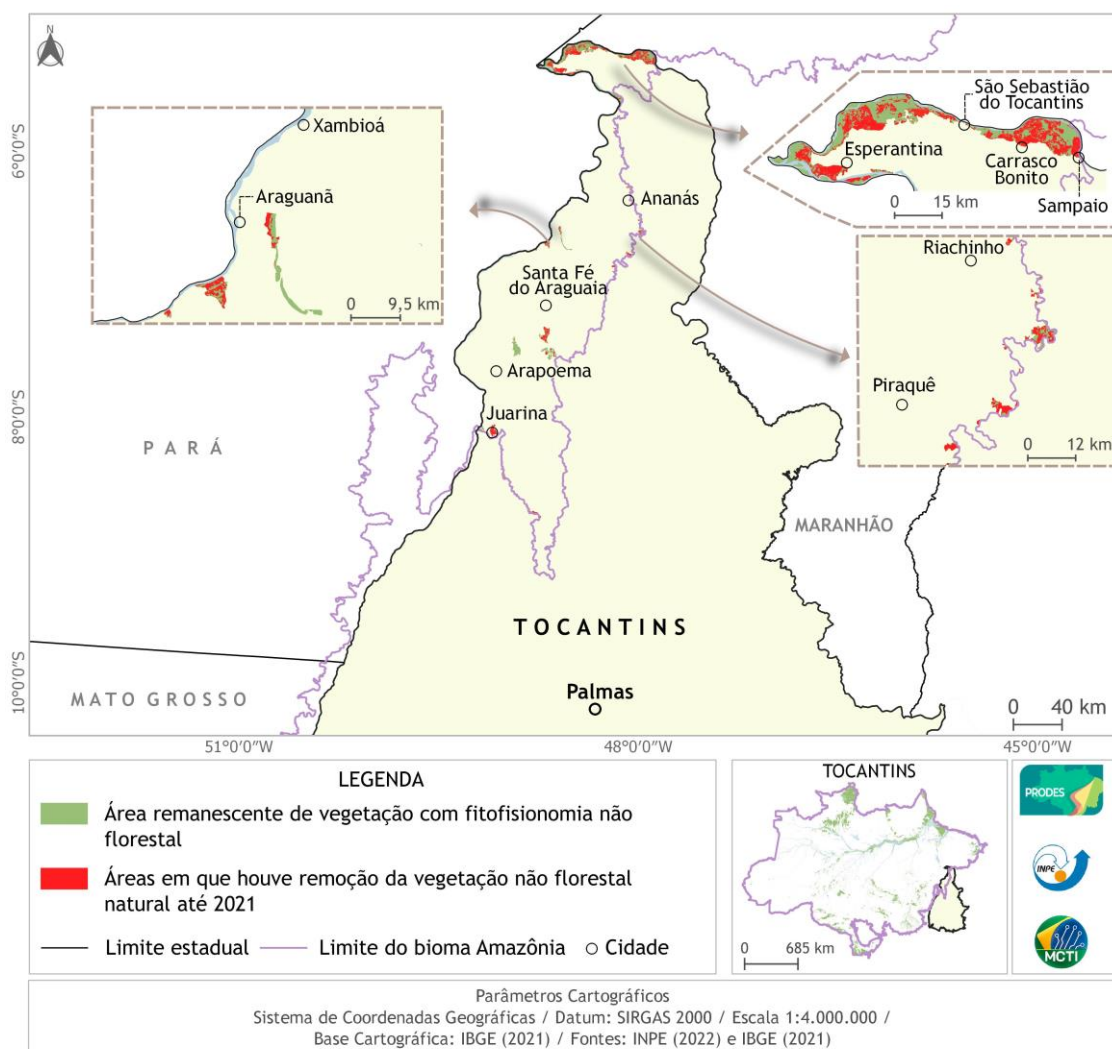


Figura 16: Distribuição espacial das áreas em que houve supressão da vegetação natural não florestal no Tocantins.

Os valores dos incrementos de supressão (em quilômetros quadrados), em cada Unidade Federativa e por ano de detecção, estão apresentados na Tabela 1. Cabe mais uma vez destacar que de 2002 a 2018, os incrementos de supressão foram detectados de maneira bienal (salvo o ano de 2012 que foi substituído por 2013) e, partir de 2019, foram detectados de anualmente.

Tabela 1: Valores de incremento de supressão da vegetação não florestal natural na Amazônia, por Unidade Federativa e ano de detecção

	Acre	Amazonas	Amapá	Maranhão	Mato Grosso	Pará	Rondônia	Roraima	Tocantins
2000	0,45	1.030,98	893,69	303,41	7.347,37	1.551,02	995,18	615,10	197,56
2002	1,06	245,82	369,10	99,69	1.576,04	286,04	150,26	326,82	56,41
2004	0,58	144,83	106,33	37,23	1.739,43	256,38	208,87	233,37	33,80
2006	0,25	152,33	81,79	44,65	771,40	252,65	158,03	393,03	28,37
2008	0,10	52,78	37,32	67,96	532,28	141,62	98,03	213,98	19,00
2010	0,17	56,33	27,57	43,60	351,83	93,65	56,85	108,39	18,55
2013	0,53	80,01	98,03	45,37	389,41	127,73	120,22	173,87	20,68
2014	0,15	32,89	56,82	22,33	222,68	42,58	76,93	184,42	5,36
2016	0,03	36,57	86,24	28,27	379,31	123,16	163,71	187,76	25,05
2018	0,66	39,91	80,83	47,79	437,10	123,39	129,89	239,64	14,77
2019	0,14	57,49	58,79	17,31	183,59	78,62	111,25	164,69	7,77
2020	0,15	61,69	27,98	38,79	164,23	70,88	120,55	172,48	11,82
2021	0,12	38,23	14,77	9,76	230,24	83,20	128,21	211,22	3,62
Total	4,38	2.029,84	1.939,27	806,14	14.324,89	3.230,92	2.517,99	3.224,76	442,75

4. Equipe técnica

Coordenação geral:

- Dr. Cláudio Aparecido de Almeida
- Ms. Luiz Eduardo Pinheiro Maurano

Coordenação técnica:

- Dr. Cassiano Gustavo Messias
- Dr. Daniel E Silva
- Dra. Luciana Soler

Auditoria:

- Me. Deborah Lopes Correia Lima
- Delmina Carla Matos Barradas
- Me. Thiago Carvalho de Lima
- Dra. Vivian Froes Renó

Interpretação:

- Amanda Pinoti Belluzzo
- Andrea Daleffi Scheide
- Ana Carolina Santos de Andrade
- Me. Bruna Maria Pechini Bento
- Camila Barata Quadros
- Douglas Rafael Vidal de Moraes



- Dayane R. V. Moraes
- Danilo Rocco Pettinati
- Diego Moreira Silva
- Eduardo Felipe Marcelino Bastos
- Eduardo H. Sanches Chrispim
- Dr. Fábio Corrêa Alves
- Gabriel M. Rodrigues Alves
- Me. Hugo Crisóstomo de Castro Filho
- Igor Soares dos Santos
- Igor Perez Cunha
- Me. Izaías de Souza Silva
- Jacqueline O. Santos
- Jefferson Jesus de Souza
- Me. João Felipe S. K. C. Pinto
- Dr. Libério Junio Silva
- Liliane Cristina Lima de Araújo
- Me. Lucélia Souza de Barros
- Me. Luiz Henrique Almeida Gusmão
- Me. Maira Ramalho Matias
- Magog Araújo de Carvalho
- Me. Manoel Ribeiro Rodrigues Neto
- Me. Marlon H. H. Matos
- Me. Noeli A. P. Moreira
- Me. Raíssa C. S. Teixeira
- Rodrigo de Almeida
- Dr. Vagner L. Camilotti
- Me. Sandra Benfica dos Santos
- Dra. Taise Farias Pinheiro
- Thayse Azevedo Moreira

Banco de dados:

- André Carvalho
- Fábio da Conceição Pinheiro

Colaboradores externos

- Dra. Andréa dos Santos Coelho (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMAS - PA)
- Dr. Adriano Venturieri (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amazônia Oriental)
- Dra. Evelyn Moraes Novo (INPE)
- Dra. Flora da Silva Ramos Vieira Martins (FUNCATE)
- Dr. Haron A. M. Xaud (Embrapa Roraima)
- Dr. Marcos Adami (INPE)
- Dra. Maristela Ramalho Xaud (Embrapa Roraima)



- Me. Tassio K. Igawa (Embrapa Amazônia Oriental)

5. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (financiamento do projeto “Monitoramento dos Biomas Brasileiros por Satélite – Construção de novas capacidades” / processo 444418/2018-0).

À Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), pelo apoio financeiro na realização do trabalho de campo e em publicações científicas.

6. Disponibilização

O arquivo vetorial que contém os polígonos de supressão em vegetação não florestal na Amazônia está disponível no portal TerraBrasilis, no seguinte endereço: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>.

7. Referências bibliográficas

ALMEIDA, C. A.; MAURANO, L. E. P.; VALERIANO, D. M.; CAMARA, G.; VINHAS, L.; MOTTA, M.; GOMES, A. R.; MONTEIRO, A. M. V.; SOUZA, A. A. A.; MESSIAS, C. G.; RENNO, C. D.; ADAMI, M.; ESCADA, M. I. S.; SOLER, L. S.; AMARAL, S. Metodologia utilizada nos sistemas PRODES e DETER Programa – 2ª versão. São José dos Campos: INPE, 2022a.

ALMEIDA, C.; SILVA, D.; MESSIAS, C. G.; SOLER, L. S.; GUSMÃO, L. H.; MAURANO, L. E. P.; SOUZA, T.; SOARES, I.; BARRADAS, D.; CUNHA, I. P.; BASTOS, E.; BELLUZO, A.; QUADROS, C.; PECHINI, B.; PINHEIRO, F.; SILVA, L. J. MAPPING NATURAL NON-FOREST VEGETATION REMOVAL IN THE BRAZILIAN AMAZON - A PILOT PROJECT. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLIII-B3-2022, p. 1341-1348, 2022b.