



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**CONTRIBUIÇÃO AO MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO NO
BIOMA MATA ATLÂNTICA POR SENSORIAMENTO REMOTO**

Mariana Martins dos Santos Cursino

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientada pela
Dra. Silvana Amaral Kampel.

INPE

São José dos Campos

2023



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**CONTRIBUIÇÃO AO MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO NO
BIOMA MATA ATLÂNTICA POR SENSORIAMENTO REMOTO**

Mariana Martins dos Santos Cursino

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientada pela
Dra. Silvana Amaral Kampel.

INPE

São José dos Campos

2023

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Abrangência do Atlas, conforme Lei Federal nº 11.428/2006 e Decreto nº 6.660/2008.....	18
Figura 2. Mapa de Abrangência do Atlas, conforme Lei Federal nº 11.428/2006 e Decreto nº 6.660/2008.....	19
Figura 3. Histórico de desmatamento observado desde 1985, início do monitoramento dos remanescentes pelo Atlas.	34
Figura 4. Taxa de desmatamento e média exponencial para a série histórica de mapeamento do Atlas.	35
Figura 5. Desmatamento da Mata Atlântica 2019-2022	36
Figura 6. Vegetação nativa secundária no Brasil e no Bimata Atlântica de 1986-2020.....	37
Figura 7. Incrementos de desmatamento na Mata Atlântica	38
Figura 8. Incrementos de desmatamento acumulados nos estados da Mata Atlântica	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quadro-síntese das principais categorias analisadas entre os três sistemas de monitoramento da Mata Atlântica, SOS Mata Atlântica (SOS MA), MapBiomass e PRODES Mata Atlântica (PRODES-MA)	40
---	----

SUMÁRIO

RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIA	2
3. RESULTADOS	5
4. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	44
ANEXO	47

RESUMO

O Bioma Mata Atlântica é o ecossistema mais complexo e o segundo mais ameaçado do mundo. Detêm elevados índices de biodiversidade, endemismo, espécies ameaçadas, além dos principais recursos hídricos que abastecem grandes cidades. A sua degradação impacta no regime hidrológico, perda de produtividade do solo, emissão de gases de efeito estufa, aquecimento global e a desertificação. O desmatamento para exploração de madeira e o aumento da população, são os fatores que mais impactam o bioma. A lei da Mata Atlântica criada em 2006 e as leis subsequentes, desaceleraram o processo de desmatamento, porém, sem ferramentas para o monitoramento, a aplicação da lei fica comprometida. Com o advento do Sensoriamento Remoto integrado a Sistemas de Informações Geográficas, permitiram a realização do monitoramento e análise das mudanças de uso e cobertura da terra, através de imagens de satélites, o que possibilita a criação de políticas públicas mais assertivas. Visto que o monitoramento é uma peça-chave na preservação do bioma, este trabalho objetiva avaliar a contribuição do sensoriamento remoto para o monitoramento do desmatamento no Bioma Mata Atlântica. Por meio de comparação de dados e técnicas, no período de 2020-2021, dos principais sistemas brasileiros de monitoramento por imagens de satélite, sendo eles: Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica - SOS Mata Atlântica & INPE, Coleção 7 do MapBiomas Mata Atlântica (2020-2021) - Mapbiomas, PRODES Mata Atlântica-INPE. Foram avaliados os conceitos, dados e métodos utilizados em cada projeto, assim como os recortes espaciais, legendas, classe de mapeamento com suas respectivas caracterizações espectrais, área mínima mapeada, formações florestais, sensores, composição de bandas, métodos de classificação considerados para cada sistema, que ao final possa compor um quadro síntese, explicativo dos objetivos e métodos de cada sistema de mapeamento. Os resultados revelaram que: os sistemas se assemelham apenas na escolha de imagens Landsat, com resolução de 30 metros. Cada sistema segue uma metodologia distinta, as diferenças mais relevantes encontradas foram: o objetivo do mapeamento, definição de critérios de interpretação de cada classe, escolha de escala, área total de mapeamento, definição da área mínima e processamento das imagens. Desta forma conclui-se que cada sistema tem sua contribuição para a preservação do bioma, porém cada metodologia gera resultados distintos, que podem vir a ser interpretados e utilizados de maneira equivocada, principalmente como embasamento para elaboração de políticas públicas.

Palavras-chave: Mata Atlântica. Desmatamento. Sensoriamento Remoto.

1. INTRODUÇÃO

O Bioma Mata Atlântica é um dos principais ecossistemas do planeta, rico em biodiversidade, com grande variedade de espécies animais e vegetais, e uma alta taxa de endemismo, é considerada como patrimônio natural, mas ao longo dos anos sofreu com a exploração descontroladas. O desmatamento na Mata Atlântica, iniciou com o extrativismo dos primórdios da colonização, depois sofreu com implantações de engenhos a expansão da pecuária e plantações de café (PASSOS, 2015).

Para Gelain et al. (2012) o desmatamento continuou após a fase colonial, principalmente com a derrubada das florestas para a abertura de áreas de lavouras e pastagens, mas também pode ocorrer em função do extrativismo animal, vegetal e mineral, ou até mesmo pela expansão urbana desordenada. Os acelerados processos de modernização aliados à rápida evolução das comunicações e das tecnologias uniram o mundo, atividades produtivas e econômicas crescem em um ritmo descontrolado.

Consequências mais visível desse processo é o impacto que causa no meio ambiente, por meio da intensa explosão agropecuária e agroindustrial, sendo o desmatamento um fator impactante a ser considerado quanto à devastação da natureza, pois coloca em risco as florestas do planeta. (GELAIN et al., 2012).

Para inibir o desmatamento a perda massiva de espécies na Mata Atlântica Brasileira, o desafio consiste na integração dos diversos instrumentos regulatórios, políticas públicas e novas oportunidades e mecanismo de incentivo para a proteção e restauração florestal (TABARELI et al., 2005).

Estudos por imagens de satélites, mostram um acentuado ritmo de substituição de extensas áreas de florestas por empreendimento agropecuários, obras de infraestrutura e expansão urbana (LIMA & CAPOBIANCO, 1997). Para Cunha (2010), é necessário monitorar os avanços, planejar e executar as táticas para a conservação da biodiversidade de acordo com os atributos ambientais e contextos socioeconômicos de cada região. É

essencial desenvolver e aplicar métodos para avaliar e monitorar os avanços na conservação de alvos nas diferentes regiões da Mata Atlântica, de forma padronizada. (CUNHA, 2010).

Neste contexto, este trabalho apresenta os principais sistemas de monitoramento de desmatamento da Mata Atlântica por satélite - Atlas dos remanescentes florestais da SOS Mata Atlântica/INPE, MapBiomas e PRODES-MA/INPE. O objetivo consiste em discutir suas características e diferenças metodológicas e conceituais à luz do sensoriamento remoto, seus produtos e resultados, bem como perspectivas de aprimoramento metodológico.

2. METODOLOGIA

A área de estudo corresponde ao Bioma Mata Atlântica que compreende 1.110.182 Km² e formado por um complexo ambiental que inclui cadeias de montanhas, platôs, vales e planícies de toda a faixa continental atlântica leste brasileira (IBGE, 2019). O Bioma Mata Atlântica constitui o grande conjunto florestal extra-amazônico, formado por Florestas Ombrófilas - Densa, Aberta e Mista e Estacionais - Semidecíduais e Decíduais.

O Bioma, ocorre em 15% do território nacional, está presente em 17 estados brasileiros, além de áreas na Argentina, Paraguai e Uruguai, e em 3249 municípios, é o único bioma brasileiro cuja classe de cobertura predominante não é de cobertura natural (IBGE, 2020). Composta por um mosaico de remanescentes de florestas e ecossistemas não-florestais, a Mata Atlântica brasileira é um *hotspot* de biodiversidade, que contém 2420 espécies de vertebrados e de 20.000 plantas, com altos níveis de endemismo e 1923 espécies ameaçadas de extinção (MITTERMEIER et al., 2011). Para Bastos (2015), o que permitiu o desenvolvimento de tantas formas de vida, muitas delas endêmicas, num só bioma foi a sua distribuição por diferentes formas de relevo – faixas litorâneas, florestas de baixada, matas interioranas e campos de altitude – com processos ecológicos conexos entre si.

Mata Atlântica é um dos principais ecossistemas do planeta, contudo historicamente tem sido explorada impiedosamente, sem qualquer preocupação com a sua conservação ou com a proteção de seu patrimônio genético. A Carta Magna de 1988 deu-lhe o *status* de patrimônio nacional, valorizando-a enfim e dando prioridade a sua preservação. (BASTOS, 2015).

O aparato legal brasileiro esteve constantemente atento à questão da conservação dos recursos florestais, embora nem sempre tenham sido aplicados os dispositivos legais. A grande destruição das florestas no início do século XX motivou a criação, em 1965, da Lei 4.771, conhecida como Código Florestal Brasileiro, para regulamentar a utilização dos seus recursos nela ficou estabelecido que é de interesse de toda a sociedade o aproveitamento racional e adequado da propriedade, a utilização adequada dos recursos naturais disponíveis e a preservação do meio ambiente (Siminski & Fantini, 2004).

Em 2006, foi aprovada a Lei da Mata Atlântica, Lei Federal nº 11.428/2006 e Decreto nº 6.660/2008, que regulamenta a proteção e uso da configuração original formações florestais nativas e seus ecossistemas associados na MA. A área de Aplicação da Lei corresponde a 1.309.736 km², e foi delimitada pelo IBGE (IBGE, 2012), na escala de 1:5.000.000. Compreende as tipologias de vegetação que ocorrem integralmente no Bioma Mata Atlântica e nas disjunções vegetais no Nordeste ou em outras regiões, quando abrangidas em resoluções do CONAMA específicas para cada estado (Lei 11.428 de 22.12.2006).

Na área, antes ocupada pela floresta atlântica, situam-se as grandes cidades e indústrias brasileiras, grande concentração de atividades agrícolas e pecuárias, e ainda o maior número de universidades e institutos de pesquisa do Brasil. No Brasil, com a intensificação de trabalhos na área de recuperação ambiental, nas últimas décadas, ocorreu um desenvolvimento tecnológico nesta área (ALMEIDA, 2016).

Aproximadamente 70% do PIB nacional é produzido na MA e ao mesmo tempo, a maioria das nascentes e mananciais que abastecem as grandes cidades da região encontram-se na Mata Atlântica. A diversidade da Mata Atlântica é extremamente elevada, e somada à heterogeneidade ambiental e elevada diversidade biológica, existe também uma grande diferença na história da ocupação humana, do uso do solo, e diferentes contextos socioambientais, incluindo aspectos culturais e econômicos muito díspares entre os estados e regiões geopolíticas da Mata Atlântica. (CUNHA, 2010). Há cerca de 145 milhões de habitantes, ou 72% da população do Brasil, além de comunidades tradicionais, quilombolas e povos indígenas. Essas particularidades se devem ao seu histórico de ocupação e urbanização a partir das áreas litorâneas rumo ao interior, na formação territorial brasileira (IBGE, 2020). A Mata Atlântica segundo o (IBGE, 2020), em 2018, a vegetação florestal representava apenas 12,6% de seu território, e foi considerado o bioma com a maior densidade demográfica, com 49,3% das áreas urbanas brasileiras. Desde o início do processo de colonização portuguesa, todo processo de ocupação tem-se concentrado na faixa litorânea brasileira.

Atualmente são reconhecidas cinco grandes ameaças à biodiversidade global: o processo de perda, fragmentação e deterioração de habitat; introdução de espécies exóticas; sobre-exploração de recursos; poluição e as mudanças climáticas, sendo que a perda e a fragmentação de habitats são apontadas como as principais ameaças à biodiversidade Lindenmayer & Fischer (2006). Assim, a Mata Atlântica vem sendo considerada uma das florestas tropicais com maior risco de extinção no planeta.

Este relatório estudou a importância dos principais sistemas brasileiros de monitoramento por imagens de satélite, sendo eles: Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica - SOS Mata Atlântica & INPE, Coleção 7 do MapBiomas Mata Atlântica (2020-2021) - Mapbiomas, PRODES Mata Atlântica- INPE.

Por meio de comparação de dados e técnicas, no período de 2020-2021, Foram avaliados os conceitos, dados e métodos utilizados em cada projeto, assim como os recortes espaciais, legendas, classe de mapeamento com suas respectivas caracterizações espectrais, área mínima mapeada, formações florestais, sensores, composição de bandas, métodos de classificação considerados para cada sistema, que ao final possa compor um quadro síntese, explicativo dos objetivos e métodos de cada sistema de mapeamento.

As informações coletadas foram apresentadas em quadro síntese, buscando elencar os pontos chaves e peculiaridades de cada sistema de monitoramento, foram comparados as seguintes características: Ano de Criação; Instituto Responsável; Iniciativa; Objetivo; Objetivo Específico; Desenvolvimento de Metodologia; Limite Considerado; Série Histórica; Objeto Mapeado; Área Mapeada; Escala; Sensor; Imagens; Resolução; Processamento; Período de Coleta; Legenda de Mapeamento; Legenda de "desmatamento"; Identificação de perda de vegetação; Acurácia; Area Total Desmatada; Primeira Publicação; Última Publicação; Contribuições para preservação e caminho de acesso os dados consultados.

3. RESULTADOS

Para a realização da revisão bibliográfica dos sistemas de monitoramento da Mata Atlântica, (SOS Mata atlântica, INPE, 2022), MapBiomias (MapBiomias, 2022) e PRODES Mata Atlântica (INPE, 2022), alvo deste relatório, foram considerados principalmente as seguintes referências:

- Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2020-2021 Relatório Técnico, 2022;
- Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2021-2022 Relatório Técnico, 2023;
- General “Handbook” Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Collection 7

Version 1.0, MapBiomias, 2022;

- Atlantic Forest – Appendix Collection 6.0 Version 1, 2022;
- Atlantic Forest – Appendix Collection 7.0 Version 1, MapBiomias, 2023;
- Mapeamento Anual da Cobertura e Uso Da Terra no Brasil (1985 - 2020), Destaque Mata Atlântica, MapBiomias Coleção 6, MapBiomias, 2021; General “Manual” Documento de Base Teórica do Algoritmo (ATBD) Versão 1.0, MapBiomias, 2022;
- Metodologia Utilizada Nos Sistemas PRODES, INPE, 2021;
- Metodologia Utilizada Nos Sistemas PRODES e DETER - 2a Edição (Atualizada), INPE, 2022;
- Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros por Satélites: Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal, Relatório de Referência Metodológica dos Subprojetos 1 a 4, INPE, 2019;
- Monitoramento da Mata Atlântica por Sensoriamento Remoto, Amaral, 2022.

Foram consultados também as plataformas online de cada sistema:

- <https://www.sosma.org.br/iniciativas/atlas-da-mata-atlantica/>;
- <https://mapbiomas.org/>;
- <http://terrabilis.dpi.inpe.br/>.

A revisão bibliográfica foi conduzida no levantamento de dados de cada sistema de monitoramento da Mata Atlântica, SOS Mata Atlântica, MapBiomias e PRODES Mata Atlântica. As características de cada sistema foram organizadas por tópicos: Origem dos sistemas de monitoramento; Limites de Mata Atlântica considerados; Produtos de Sensoriamento Remoto; Critérios de mapeamento; Legenda adotada; Critério para identificação da perda de vegetação; Metodologia de identificação dos desmatamentos; Validação dos desmatamentos e Área total desmatada.

Origem dos Sistemas de Monitoramento

SOS Mata Atlântica

A Fundação SOS Mata Atlântica, foi a precursora das Organizações não Governamentais (ONGs), destinada a defender os últimos remanescentes de Mata Atlântica no país. A Fundação SOS Mata Atlântica foi criada em 1989, por cientistas, empresários, jornalistas e defensores da questão ambiental, com foco principal a promoção de políticas públicas. Com a missão de “Inspirar a sociedade na defesa da Mata Atlântica”, a Fundação luta pelas causas que sintetizam sua atuação: a preservação da Mata Atlântica; a Restauração da Floresta; a Valorização dos Parques e Reservas; a Água Limpa e a Proteção do Mar. A Fundação SOS Mata Atlântica, contribuiu veemente na criação de legislações de políticas públicas em defesa do Bioma. Em 1988 articulou o reconhecimento da Mata Atlântica como “patrimônio nacional”. Fomentou a criação do Decreto Federal 99.547, que veta o corte e a exploração da vegetação de Mata Atlântica, do Decreto Federal 750, que estabelece normas para a proteção e uso sustentável da Mata Atlântica. A ONG foi peça chave na aprovação e sanção da Lei da Mata Atlântica. Em 2007, participou da Criação da Frente Parlamentar Ambientalista, em 2015 gerou a carta: “Uma Nova História para a Mata Atlântica”, no encontro com secretários de estados da Mata Atlântica. Participou de importantes conferências e fóruns mundiais, como a ECO-92 e Fórum Mundial da Água, em Brasília. Realizou exposições itinerante e interativas, como a exposição: “A Mata Atlântica é Aqui” e “Sua Mata, Sua Casa”. Inúmeras campanhas foram promovidas pela Fundação SOS Mata Atlântica, tendo como foco a conscientização e disseminação das causas ambientais. Foram realizadas campanhas como: “Estão Tirando o Verde da Nossa Terra”; “Despoluição do Tietê”; “Faça as Leis com suas Próprias Mãos – Assine pela Mata Atlântica”; “Mata Atlântica: Vote para Proteger”; “Xixi no Banho”; “A Mata é a Nossa Casa”, entre outras. Em 1999,

ocupou o Congresso Nacional, junto com 250 crianças, munidas de desenhos e mensagens em favor da Mata Atlântica.

No intuito de contribuir e fomentar a criação de políticas públicas sólidas, a Fundação SOS Mata Atlântica criou plataformas ambientais, que auxiliam políticos nas questões ambientais, como a “Plataforma Ambiental” aos candidatos à Presidência” e a “Plataforma Ambiental aos Municípios, Prefeitos e Vereadores”. A Fundação também elaborou outros instrumentos de apoio aos interessados no conhecimento e preservação da Mata Atlântica, como o lançamento da “Carta aos Candidatos” e da cartilha “Uma Lei para o Mar: Uso e Conservação para Benefício de Todos”, além de um hot site interativo: “Aqui Tem Mata?”.

A publicação do primeiro Atlas Mata Atlântica ocorreu em 1990 e do Atlas dos Municípios da Mata Atlântica em 2003, cujo objetivo de determinar a distribuição dos remanescentes da Mata Atlântica, monitorar as alterações da cobertura vegetal nativa e gerar informações permanentemente atualizadas sobre o bioma, desenvolvido em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), com patrocínio do Bradesco Cartões, foram uma das grandes contribuições para a preservação da Mata Atlântica realizada pela Fundação SOS Mata Atlântica.

MapBiomias

Criado em 2015 o MapBiomias nasceu da necessidade de especialistas em mapeamento de vegetação e sensoriamento remoto em desenvolver uma metodologia mais rápida, barata, sem perda de qualidade e que permitisse recuperar o histórico das últimas décadas para elaboração de mapas anuais de cobertura e uso do solo para todo o Brasil. O projeto MapBiomias é uma iniciativa do Observatório do Clima, com participação de instituições públicas, privadas e organizações não governamentais (ONGs), com aporte de recursos

internacionais para viabilizar o desenvolvimento das atividades, formando assim uma rede colaborativa de especialistas atuantes nos biomas brasileiros.

Essas organizações desempenham papéis específicos ou múltiplos e contribuem para o desenvolvimento geral do projeto. Cada bioma (Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Pampa, Pantanal) e tema transversal (Agricultura, Pastagem, Plantação Florestal, Zona Costeira, Mineração e Áreas Urbanas), possuem uma organização com especialistas em cada temática.

O MapBiomas elabora mapas anuais, com alto grau de automatização do processo e participação de uma comunidade de especialistas em cada bioma e temas transversais. O MapBiomas tem como propósito preencher lacunas de informação sobre a dinâmica da cobertura do solo e reduzir incertezas das estimativas de emissões de gases de efeito estufa associadas a esse processo (UFRGS, 2023).

A elaboração de mapas anuais de cobertura e uso do solo para todo o Brasil, não é o único produto desenvolvido pelo MapBiomas. Com atualizações e aprimoramentos da metodologia e inteligência artificial, outros produtos foram desenvolvidos e expandidos para outros países. O MapBiomas atualmente cobre toda a América do Sul e outros países. Os produtos elaborados pelo MapBiomas, são:

- MAPBIOMA Alerta, um sistema de validação e refinamento de alertas de desmatamento, degradação e regeneração de vegetação nativa com imagens de alta resolução, produz dados mensais e anuais;
- RAD – Relatório Anual do Desmatamento;
- MapBiomas Fogo, que apresenta dados de cicatrizes de fogo no Brasil, baseados nos mosaicos de imagens de satélites Landsat com resolução de 30 metros, cobrindo o período de 1985 a 2022, e produz dados mensais e anuais;

- MapBiomias Água, uma iniciativa que apresenta os dados da dinâmica da superfície dos corpos d'água no Brasil e Bacia Amazônica, cobrindo o período de 1985 a 2022, com base nas imagens Lansat de 30 metros e nebulosidade inferior a 70%, e produz dados mensais e anuais;
- MapBiomias Solo, que apresenta dados sobre o estoque de carbono orgânico presente nos primeiros 30cm de solo no Brasil, abrangendo o período de 1985 a 2022;
- MapBiomias Árida, o Sistema de Monitoramento da Degradação e Recuperação da Terra, é um sistema de monitoramento das áreas degradadas no nordeste brasileiro. É uma iniciativa do Ministério do Meio Ambiente, financiada pelo GEF e PNUD e executada pela UEFS e APNE;
- MAPBIOMAS Amazônia, criado a partir de parcerias com instituições locais que produz mapas anuais de cobertura e uso da terra de toda Pan-Amazônia;
- MAPBIOMAS CHACO, que combina o método MapBiomias e a experiência de grupos locais para produzir mapas anuais da cobertura e uso da terra na região de Chaqueña;
- MAPBiomias Bosque Atlântico, que produz uma série histórica de mapas anuais de e uso da terra na região da MA Trinacional;
- MAPBIOMAs Pampa Sul-Americano, que mapas anuais de ocupação e uso da terra dos Pampas sul-americanos;
- MAPBIOMAS Indonésia, primeira iniciativa fora da América do Sul a utilizar os métodos de rede colaborativa MapBiomias. Sua coleção 1 mapeou 10 classes de cobertura e uso da terra;
- MAPBiomias Peru, apresenta dados de uso e cobertura da terra entre os anos de 1985 e 2021 para todo o território peruano e seus quatro biomas;

- MAPBiomias Bolívia, apresenta dados de uso da terra entre os anos de 1985 e 2021 para todo o território Boliviano;

Outras aplicações científicas derivadas de históricos anuais e séries temporais desenvolvidas pelo MapBiomias, produziu sete conjuntos de mapas digitais anuais de cobertura e uso do solo (LCLU), denominados Coleções, possuindo sete classes de LCLU: floresta, agricultura, pastagem, plantação florestal, mangue e água, e com adição de mais 13 classes em 2017, classes de LCLU com subclasses de floresta, savana, pastagem, mangue, praia, infraestrutura urbana entre outras classes.

A base de dados das estatísticas dos mapas das Coleções do MapBiomias são: Cobertura e transições Biomias & Estados, Municípios, Quilombo e Estados, Unidade de Conservação, Terra Indígena, Mineração, Irrigação, Desmatamento e Regeneração por Bioma, estado e município, Cicatrizes de fogo e Superfície da Água.

A disponibilização dos dados é publicada em forma de alertas mensais e anuais e em forma de Coleções anuais. O MapBioma disponibiliza em sua plataforma online além dos dados gerados, os algoritmos para que possam ser reproduzidos para qualquer projeto, disponíveis para download.

PRODES - INPE

Historicamente o Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélites (PRODES), nasceu da necessidade do Presidente José Sarney em apresentar uma metodologia de monitoramento de desmatamento da Amazônia, após receber duras críticas sobre o aumento do desmatamento, entre os anos de 1987 e 1988. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foi responsável por desenvolver esta metodologia, e em 1989 o INPE criou o primeiro sistema de monitoramento de desmatamento de Florestas Tropicais do mundo, o PRODES (NOBRE, 2022).

Com o passar dos anos, o PRODES que originalmente foi criado para monitorar o desmatamento da Amazônia, passou a ser um projeto mais abrangente, nascendo assim o Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomias (PAMZ+). O PRODES se tornou um projeto operacional do uso e cobertura da terra com imagens de satélites de sensoriamento remoto na região da Amazônia e Demais Biomias. O PAMZ+ é um

programa desenvolvido na Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG) e na Coordenação Espacial da Amazônia (COEAM) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que conta com mais dois projetos operacionais, o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) e, o Sistema de mapeamento do uso e ocupação da terra, TerraClass, que atendem a diferentes objetivos.

O Sistema DETER surgiu em 2004, quando o Ministério do Meio Ambiente (MMA) viu a necessidade de se adiantar quanto ao desmatamento, ou seja, monitorar o desmatamento antes que ele aconteça, antes que a floresta caia e chegue ao ponto de corte raso. O objetivo do DETER é apoiar a fiscalização com alertas diários de alterações na cobertura florestal, e principalmente reduzir o desmatamento, por ações imediatas de fiscalização.

O INPE desenvolveu uma metodologia de monitoramento que produz diariamente avisos de alteração na vegetação para áreas maiores ou iguais a 3 hectares, mapeiam com agilidade áreas com supressão e degradação florestal na Amazônia Legal Brasileira (ALB), e áreas com supressão de vegetação primária nas formações savânicas e florestais do bioma Cerrado.

O DETER informa aos órgãos fiscalizadores como, por exemplo, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Secretarias Estaduais de Meio Ambiente, por meio de alertas, a tendência de alteração da cobertura florestal, a área e localização de onde o evento está acontecendo quase em tempo real. Os alertas são de extrema importância para prevenção do desmatamento, auxiliam no planejamento de políticas de fiscalização e controle dos órgãos fiscalizadores, que podem de maneira estratégica averiguar e autuar atividades realizadas sem as devidas autorizações ambientais. Todas as informações geradas pelo DETER, são disponibilizadas na plataforma digital TerraBrasilis, de livre acesso.

O TerraClass é um projeto desenvolvido e executado pelo Centro Regional da Amazônia (CRA) em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), por

meio de suas unidades Embrapa Amazônia Oriental (CPATU), em Belém (PA) e Embrapa Informática Agropecuária (CNPTIA), em Campinas (SP). Com uma proposta inédita no mundo, o TerraClass é responsável por qualificar o desflorestamento na Amazônia Legal Brasileira e com isso fornece subsídios importantes para o melhor entendimento das formas de uso e cobertura da terra na Amazônia. A base de dados utilizada pelo TerraClass, são áreas de desmatamento mapeadas e publicadas pelo Projeto PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite, que o INPE realiza desde 1988. Com base em técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, os profissionais envolvidos buscam informações sobre a dinâmica do desmatamento e, com isso, produzem mapas sistêmicos de uso e cobertura das terras desflorestadas da Amazônia Legal Brasileira. O TerraClass tem como objetivo qualificar o desflorestamento da Amazônia Legal, investigar os motivos e aponta as possíveis causas da derrubada de árvores

Inicialmente o PRODES foi elaborado para atender as demandas de desmatamento apenas da Amazônia Legal Brasileira, e foi expandida para o Bioma Cerrado. A partir de 2015, por meio da Portaria MMA 365/2015 o monitoramento passou a abranger todo os Biomas Brasileiro, pelo Programa de Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros (PMABB). Em 2022, foi lançado o Projeto “Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros por Satélites: Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal”, arquitetado para atender a estratégia Nacional de REDD+, mecanismo de pagamentos por emissões evitadas de Gases de Efeito Estufa (GEE) por redução de desmatamento e degradação florestal, a fim de consolidar esforços para cumprir as metas previstas na Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC). Para garantir que o monitoramento seja consistente em todos os programas e em todos os Biomas do território brasileiro, adotou-se a metodologia desenvolvida e utilizada nos Projetos PRODES-Amazônia (INPE, 2019) e PRODES-Cerrado (INPE, 2018).

Sistemas de monitoramento da Mata Atlântica

SOS Mata Atlântica

Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica

Criado em 1989, a Fundação SOS Mata Atlântica em conjunto com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), elaboraram o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, um projeto pioneiro para monitorar a situação da vegetação nativa do bioma no Brasil. O primeiro mapa publicado pelo Atlas foi em 1990, que abrangeu o período histórico de 1995 a 2005, em escala 1:1.000.000, com publicações a cada cinco anos. Mudanças ocorreram ao longo do tempo, com melhorias de metodologia e tecnologias. Atualmente o Atlas é publicado anualmente, em escala de 1:50.000, sendo a última publicação realizada em 2023, abrangendo o período de 2021-2022.

O Atlas foi criado com objetivo de determinar a distribuição dos remanescentes da Mata Atlântica, monitorar as alterações da cobertura vegetal e gerar informações permanentemente atualizadas sobre o bioma.

MapBiomias

Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra no Brasil (1985 - 2021)

Criado em 2015, por iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima), universidades, ONGs e empresas de tecnologia, desenvolveram o MapBiomias, com a finalidade de desenvolver um método rápido, confiável, colaborativo e de baixo custo para produzir uma série temporal anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil. O MapBiomias foi organizado por uma equipe multidisciplinar especialista em cada bioma do Brasil (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal), e especialistas em temas transversais (como pastagem, agricultura, plantio florestal, zona costeira, mineração e área urbana).

Os primeiros mapas publicados pelo MapBiomias, ocorreu em 2016, com a Coleção 1, que abrangia o período de 2008 a 2015, e com sete classes de LCLU. Ao longo dos anos com a evolução das tecnologias e inteligência artificial geram melhorias nos mapas do MapBiomias, foram realizadas alterações como a ampliação do período histórico de mapeamento, que passou a ser desde 1985, novas classes foram sendo adicionadas conforme os algoritmos e aprendizado de máquina foram evoluindo. A última publicação do MapBiomias foi a Coleção 7, que apresenta legenda com 27 classes, e cobre o período de 1985 a 2021. A Coleção 7.1 do MapBiomias está em andamento e apresentará melhorias na classificação de classes.

O objetivo do MapBiomias é contribuir para o entendimento da dinâmica da LCLU no Brasil, com a elaboração de mapas digitais anuais de cobertura e uso do solo (LCLU).

PRODES-MA - INPE

Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros por Satélites: Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal

O Projeto “Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros por Satélites: Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal” foi concebido para atender a estratégia Nacional de REDD+, mecanismo de pagamentos por emissões evitadas de Gases de Efeito Estufa (GEE) por redução de desmatamento e degradação florestal, a fim de consolidar esforços para cumprir as metas previstas na Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC). O Projeto está sendo executado desde 2015, pela Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais, sob intervenção técnica do INPE, com financiamento originário do Fundo Amazônia/BNDES.

O projeto tem como objetivo realizar o aprimoramento e a aplicação de metodologias de detecção do desmatamento nos biomas Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal para gerar informações estratégicas para a gestão territorial do país.

A construção de uma série histórica de desmatamento, de 2000 a 2016, a elaboração de cálculos de emissões de CO₂eq./ano oriundas do desmatamento em áreas de florestas, a construção do nível de referência de emissões florestais (FREL) para cada um dos biomas, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, e a realização do Monitoramento de desmatamento anual, com início em 2017 até os dias atuais, são os objetivos específicos do programa.

Limites de Mata Atlântica Considerados

Cada sistema aborda uma região de interesse diferente, o Atlas considera como referência de limite de interpretação o Mapa da Área de Aplicação da Lei da Mata Atlântica. Já o PRODES-MA passou a utilizar a partir de 2020 o novo “Mapa de Biomas do Brasil”, publicado pelo IBGE em 2019, como fonte única para a definição da área de interesse e abrangência dos mapeamentos. No entanto o MapBiomas utiliza tanto os Mapa da Área de Aplicação da Lei da Mata Atlântica, quanto o Mapa de Biomas do Brasil, que é utilizado desde a Coleção 5.

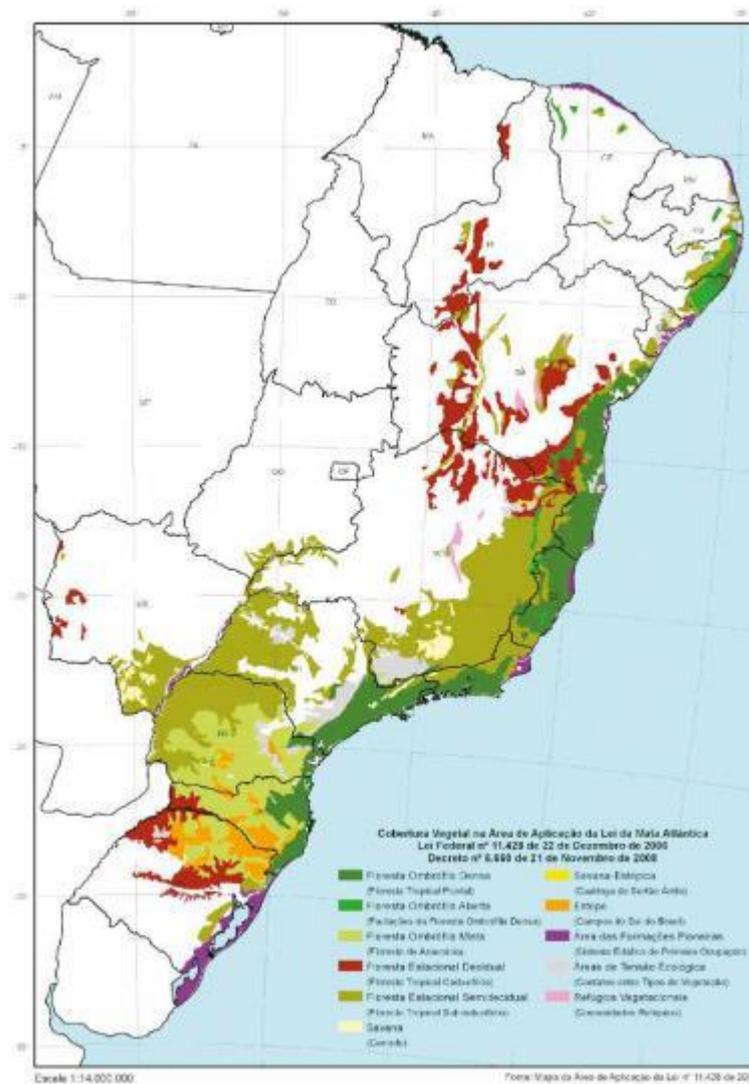
A Lei da Mata Atlântica, Lei 11.428, de 2006, foi instituída pelo Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008, publicado no Diário Oficial da União, de 24 de novembro de 2008, e aprovada pelo Congresso Nacional, em 22 de dezembro de 2006. Cabe ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a elaboração do Mapa, delimitando as formações florestais e ecossistemas associados passíveis de aplicação da Lei, conforme define a regulamentação. O Decreto no 6.660, de 21 de novembro de 2008, estabeleceu que o mapa do IBGE previsto no Art. 2º da Lei no 11.428 “contempla a configuração original das seguintes formações florestais nativas e ecossistemas associados: Floresta

Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual; campos de altitude; áreas das formações pioneiras, conhecidas como manguezais, restingas, campos salinos e áreas aluviais; refúgios vegetacionais; áreas de tensão ecológica; brejos interioranos e encaves florestais, representados por disjunções de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual; áreas de estepe, savana e savana-estépica; e vegetação nativa das ilhas costeiras e oceânicas”. O Decreto no 6.660, de 21 de novembro de 2008, estabeleceu que o mapa do IBGE previsto no Art. 2º da Lei no 11.428 “contempla a configuração original das seguintes formações florestais nativas e ecossistemas associados: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual; campos de altitude; áreas das formações pioneiras, conhecidas como manguezais, restingas, campos salinos e áreas aluviais; refúgios vegetacionais; áreas de tensão ecológica; brejos interioranos e encaves florestais, representados por disjunções de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual; áreas de estepe, savana e savana-estépica; e vegetação nativa das ilhas costeiras e oceânicas”. É importante ressaltar a Nota Explicativa: “A escala adotada para elaboração do mapa (1:5.000.000) apresenta um nível de agregação onde pequenas manchas de uma determinada tipologia foram incorporadas em outras tipologias, o que não caracteriza sua inexistência”, (SOS Mata Atlântica, 2022), Figura 1.

O Mapa de Biomas do Brasil é resultado do termo de cooperação assinado entre o IBGE e o Ministério do Meio Ambiente em agosto de 2003. Com sua publicação, o governo brasileiro e a sociedade passam a contar com um valioso instrumento na formulação de políticas públicas específicas para os diferentes biomas brasileiros, denominados: Bioma

Amazônia, Bioma Mata Atlântica, Bioma Caatinga, Bioma Cerrado, Bioma Pantanal e Bioma Pampa. A última versão do Mapa de Biomas do Brasil foi publicada em 2019 com o título “Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil – 1:250.000”, (IBGE, 2023), Figura 2.

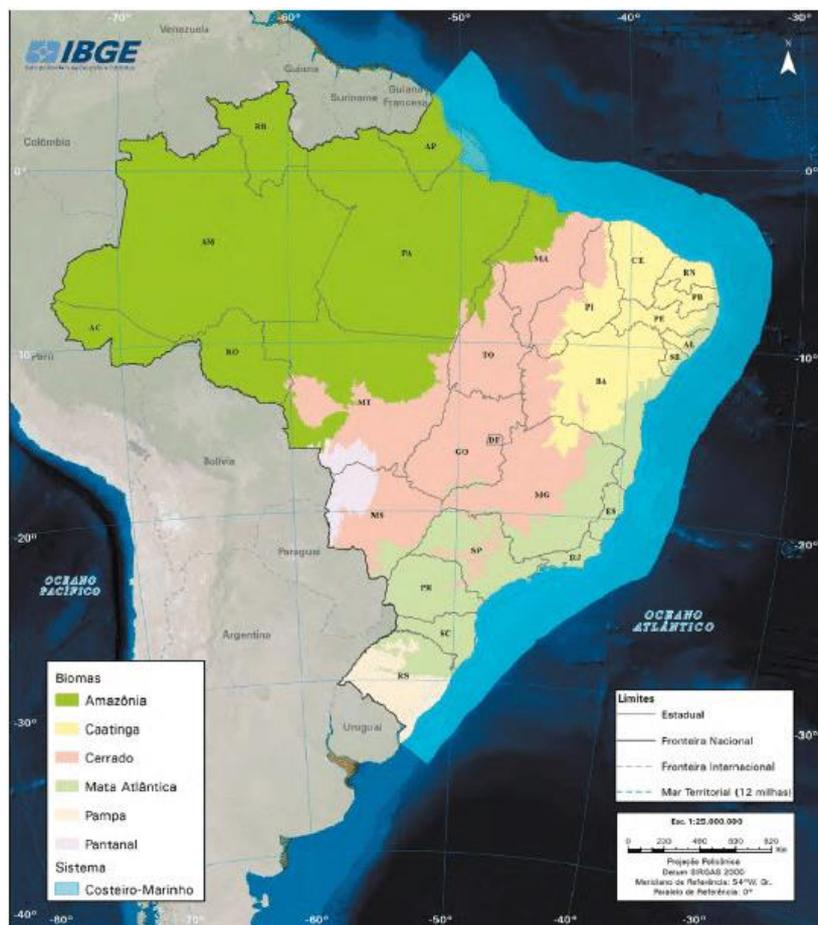
Figura 1. Mapa de Abrangência do Atlas, conforme Lei Federal nº 11.428/2006 e Decreto nº



6.660/2008.

Fonte: SOS Mata Atlântica (2022)

Figura 2. Mapa de Abrangência do Atlas, conforme Lei Federal nº 11.428/2006 e Decreto nº 6.660/2008.



Fonte: IBGE (2023).

Produtos de sensoriamento remoto

Atlas - MA

O Atlas utiliza o período 2021-2022, imagens orbitais do sensor MSI/Sentinel-2. As imagens são selecionadas principalmente no segundo semestre de 2021 e 2022, tendo outubro como mês de referência. São utilizadas as técnicas de interpretação visual de

imagens disponibilizadas em formato digital, visualizadas em tela de computador, na escala 1:50.000 composição em Falsa-cor, com a vegetação na banda do vermelho. Os mapas gerados são validados a partir da observação de imagens de alta resolução do Google Earth, sempre que disponíveis, e com as imagens TM OLI/Landsat 8, de 2016, 2017, 2018 e 2019 e Sentinel-2, de 2020.

MapBiomias - MA

O conjunto de dados de imagens utilizado no projeto MapBiomias, na Coleção 1 a 7 - compreendeu o período de 1985 a 2021, foi utilizado sensores Landsat Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e o Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor (OLI-TIRS), a bordo do Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8, respectivamente. As coleções de imagens Landsat com resolução de pixel de 30 metros foram acessíveis via Google Earth Engine e produzidas pela NASA e USGS. O processamento de imagens MapBiomias é baseado na tecnologia Google, que inclui processamento de imagens em infraestrutura de computação em nuvem, programação com Javascript e Python via Google Earth Engine e armazenamento de dados usando Google Cloud Storage. O Google define o Google Earth Engine como: “uma plataforma para análise científica em escala de petabytes e visualização de conjuntos de dados geoespaciais, tanto para benefício público quanto para usuários empresariais e governamentais”.

PRODES – MA

O PRODES – MA, utiliza imagens de satélite de média resolução espacial que são adequadas para a detecção do desmatamento em escala regional e nacional, do período de 2020 a 2021. As imagens utilizadas pelo PRODES -MA são aquelas geradas pelos sensores TM/Landsat5, ETM+/Landsat7 e OLI/Landsat8, que já têm uso consolidado em trabalhos dessa natureza dada a sensibilidade aos alvos naturais. As imagens além de permitirem o mapeamento de pequenas áreas (área mínima de 1ha é possível), e existe

grande oferta de imagens gratuitas. Os programas de monitoramento do desmatamento dos Biomas Amazônia e Cerrado empregam tais imagens com sucesso.

Critérios de mapeamento

Atlas - MA

Os critérios de mapeamento utilizado pelo Atlas – MA foram a utilização de imagens fixada em escala 1:50.000 para a visualização das imagens em tela, definiram-se três hectares como a área mínima de mapeamento, tanto para delimitar as áreas desflorestadas como os fragmentos florestais. A extração de informação das imagens, ou seja, a delimitação das áreas de interesse foi feita por interpretação visual e digitalização manual. Áreas de desflorestamento menores que três hectares foram marcadas como indício de desmatamento e serão observadas novamente nas próximas versões do Atlas para acompanhamento de sua dinâmica. Todos os valores de áreas são calculados com base nos mapas em projeção Cônica Conforme de Albers, DATUM SIRGAS2000. Essa projeção métrica é ideal para preservação dos valores de área em regiões de grande extensão, como a Mata Atlântica.

MapBiomas – MA

A seleção de imagens do MapBiomas é baseada na reflectância da superfície dos sensores Landsat gerados pela Amazon, todos os Biomas, exceto os compostos sem nuvem Landsat com base em períodos específicos para otimizar o contraste espectral e ajudar na discriminação das classes LCLU. O script de remoção de nuvem/sombra aproveita a banda de avaliação de qualidade (QA) e o redutor mediano GEE (Google Earth Engine). Em conjunto, o GEE pode ser instruído a escolher o valor de pixel mediano em uma pilha de imagens. Ao fazer isso, o mecanismo rejeita valores muito claros (por exemplo, nuvens) ou muito escuros (por exemplo, sombras) e escolhe o valor de pixel mediano em

cada banda ao longo do tempo. Os temas transversais (Pasto, Agricultura, Plantação Florestal, Área Urbana, Zona Costeira e Mineração) processaram mosaicos Landsat por cena (mais detalhes disponíveis nos Anexos do bioma e do tema transversal). Para melhorar a classificação das imagens e reduzir ruídos, foi desenvolvida uma nova ferramenta para avaliar as imagens individualmente, excluindo imagens, para melhorar a qualidade do mosaico. O bioma Amazônia classificou cada imagem Landsat usando Random Forests e reclassificou os resultados para criar o mapa anual de LCLU.

PRODES – MA

O mapeamento do desmatamento no bioma Mata Atlântica segue a metodologia desenvolvida e utilizada nos Projetos PRODES-Amazônia e PRODES-Cerrado: análise visual em escala 1:75.000; vetorização manual de polígonos de desmatamento, maiores que 1ha no caso da Mata Atlântica, em imagens de média resolução espacial, principalmente, dos satélites da série Landsat. A aquisição das imagens de satélite obedece às restrições de datas definidas por Bioma, como a Mata Atlântica se estende por ampla faixa latitudinal (cerca de 20°), o período de seleção das imagens é realizado nos meses junho-julho-agosto, onde espera-se que a incidência de nuvens seja menor, com intervalos mais regulares de revisita das áreas (ex. a cada ano) e ao mesmo tempo a redução das áreas não observadas, devido à cobertura por nuvens. Antes de serem disponibilizadas para o intérprete, as imagens são submetidas a uma série de processamentos computacionais que visam à melhoria do seu aspecto visual. Basicamente, são feitas as composições coloridas, manipulação de histograma e segmentação.

Critérios de mapeamento

Atlas - MA

Os critérios de mapeamento utilizado pelo Atlas – MA foram a utilização de imagens fixada em escala 1:50.000 para a visualização das imagens em tela, definiram-se três hectares como a área mínima de mapeamento, tanto para delimitar as áreas desflorestadas como os fragmentos florestais. A extração de informação das imagens, ou seja, a delimitação das áreas de interesse foi feita por interpretação visual e digitalização manual. Áreas de desflorestamento menores que três hectares foram marcadas como indício de desmatamento e serão observadas novamente nas próximas versões do Atlas para acompanhamento de sua dinâmica. Todos os valores de áreas são calculados com base nos mapas em projeção Cônica Conforme de Albers, DATUM SIRGAS2000. Essa projeção métrica é ideal para preservação dos valores de área em regiões de grande extensão, como a Mata Atlântica.

MapBiomias – MA

A seleção de imagens do MapBiomias é baseada na reflectância da superfície dos sensores Landsat gerados pela Amazon, todos os Biomias, exceto os compostos sem nuvem Landsat com base em períodos específicos para otimizar o contraste espectral e ajudar na discriminação das classes LCLU. O script de remoção de nuvem/sombra aproveita a banda de avaliação de qualidade (QA) e o redutor mediano GEE (Google Earth Engine). Em conjunto, o GEE pode ser instruído a escolher o valor de pixel mediano em uma pilha de imagens. Ao fazer isso, o mecanismo rejeita valores muito claros (por exemplo, nuvens) ou muito escuros (por exemplo, sombras) e escolhe o valor de pixel mediano em cada banda ao longo do tempo. Os temas transversais (Pasto, Agricultura, Plantação Florestal, Área Urbana, Zona Costeira e Mineração) processaram mosaicos Landsat por cena (mais detalhes disponíveis nos Anexos do bioma e do tema transversal). Para melhorar a classificação das imagens e reduzir ruídos, foi desenvolvida uma nova ferramenta para avaliar as imagens individualmente, excluindo imagens, para melhorar a

qualidade do mosaico. O bioma Amazônia classificou cada imagem Landsat usando Random Forests e reclassificou os resultados para criar o mapa anual de LCLU.

PRODES – MA

O mapeamento do desmatamento no bioma Mata Atlântica segue a metodologia desenvolvida e utilizada nos Projetos PRODES-Amazônia e PRODES-Cerrado: análise visual em escala 1:75.000; vetorização manual de polígonos de desmatamento, maiores que 1ha no caso da Mata Atlântica, em imagens de média resolução espacial, principalmente, dos satélites da série Landsat. A aquisição das imagens de satélite obedece às restrições de datas definidas por Bioma, como a Mata Atlântica se estende por ampla faixa latitudinal (cerca de 20º), o período de seleção das imagens é realizado nos meses junho-julho-agosto, onde espera-se que a incidência de nuvens seja menor, com intervalos mais regulares de revisita das áreas (ex. a cada ano) e ao mesmo tempo a redução das áreas não observadas, devido à cobertura por nuvens. Antes de serem disponibilizadas para o intérprete, as imagens são submetidas a uma série de processamentos computacionais que visam à melhoria do seu aspecto visual. Basicamente, são feitas as composições coloridas, manipulação de histograma e segmentação.

Legenda adotada

Atlas – MA

O Atlas considera o caráter de monitoramento dos remanescentes florestais e ecossistemas associados do bioma Mata Atlântica, a legenda adotada inclui:

- Remanescentes Florestais – Mata;
- Desflorestamento (em Mata monitorada pelo Atlas);
- Remanescentes de Restinga Florestal;

- Decremento de Restinga Florestal;
- Remanescentes de Vegetação de Mangue;
- Decremento de Vegetação de Mangue;
- Áreas Naturais não Florestais: Áreas de Formações Pioneiras (Várzeas); Campos de Altitude Naturais; Refúgios Vegetacionais; Dunas; Restinga Herbácea; Apicum; Banhado e Campo Úmido.

O Atlas ressalta a importância das Formações Naturais Não Florestais, essenciais para a manutenção do ambiente natural e biodiversidade em suas áreas de ocorrência, portanto, são também mapeadas e monitoradas.

MapBiomias – MA

O esquema de classificação MapBiomias é um sistema hierárquico com uma combinação de classes LULC, dividida em dois níveis, no primeiro nível, existem seis classes:

- Floresta;
- Formação Não Florestal;
- Cultivo;
- Área Não Vegetada;
- Água;
- Não Observada.

O primeiro nível é dividido em outras quatro subclasses:

- Formação Florestal;
- Formação Cerrado;
- Mangue;
- Vegetação Arborizada de Restinga.

Já o segundo nível possui 16 classes que também possuem uma combinação de classes LULC. A Formação Natural Não Florestal é dividida em outras seis classes. Áreas de

Agriculturas são divididas em quatro classes e subdivididas em Cultivos Temporários e Cultivos Perenes. Outras áreas não vegetadas são classificadas em: Área Não Vegetal em Praia, Duna e Areia, Área Urbana, Mineração e Outras Áreas Não Vegetais; Água em rio, lago e oceano e aquicultura.

PRODES – MA

O PRODES – MA, utiliza quatro legendas operacionais para elaborações de mapas finais de monitoramento, duas classes de Desmatamento: “Desmatamento observado em imagem do ano em análise (d<ano>)” e “Massa d’água de origem antrópica (reservatório)”, outras duas classes de Não observado: “Áreas da superfície terrestre não observadas devido à presença de nuvens e suas sombras (nuvem)” e “Áreas não observadas devido à geometria no momento da aquisição da imagem pelo sensor (posição do satélite, alvo, sol e condições de relevo) (sombra_relevo).

Critério para identificação da perda de vegetação

Cada sistema adota um critério de identificação e uma denominação para “desmatamento”. O Atlas - MA adota o termo “desflorestamento”, o MapBiomias - MA adota a classificação de classes de uso e cobertura do solo, o PRODES – MA o termo “desmatamento”.

Atlas - MA

O termo “desflorestamento” usado pelo Atlas, definido para classificar a perda de cobertura florestal na máscara de Mata monitorada, e o termo “decremento” inclui a perda de vegetação de mangue e restinga florestal.

A perda de vegetação em Áreas Naturais Não Florestais (várzeas, campos de altitude, refúgios vegetacionais, dunas, restingas herbáceas e apicum) não são incluídas no relatório.

O Atlas considera corte raso, áreas com a remoção total (ou quase total) da cobertura florestal original observada na imagem do ano anterior, dados coletados são utilizados para contabilização do desflorestamento e decréscimo.

MapBioma – MA

O MapBiomas adota a classificação por classes de uso e cobertura do solo, para o desmatamento especificamente utiliza a classe Formação Florestal e suas subclasses, Formação Cerrado, Mangue e Vegetação Arborizada de Restinga. O Relatório Anual Do Desmatamento no Brasil (RAD), define desmatamento como a supressão completa da vegetação florestal, de maneira mais ampla, que inclui toda e qualquer supressão de vegetação nativa, abrangendo também a supressão de vegetação não florestal, como os campos e as savanas, tratando o termo de supressão da vegetação nativa.

O RAD, considera ainda o desmatamento em “desmatamento primário”, que se refere ao desmatamento da floresta ou vegetação nativa primária, e o “desmatamento secundário”, à supressão da vegetação secundária (área que foi desmatada anteriormente e que está em processo de regeneração da vegetação), e ainda classifica o desmatamento em “desmatamento bruto”, que considera apenas a perda de cobertura de vegetação nativa. Já o “desmatamento líquido ou Perda líquida”, que se refere ao desmatamento descontando a área onde tenha ocorrido regeneração da vegetação. (RAD, 2023).

PRODES – MA

O termo “desmatamento” utilizado no PRODES é definido como conversão por supressão de áreas de vegetação primária por ações antropogênicas. Para a porção florestal, o desmatamento pode ser visto como um processo único, que se inicia com a floresta intacta e, geralmente, termina com a conversão da floresta original em outras coberturas.

Define corte raso o processo de desmatamento que resulta na remoção completa da cobertura florestal em um curto intervalo de tempo. Nesse processo, a cobertura florestal

é totalmente removida, a área é geralmente queimada para eliminar os resíduos, ocorrendo então a substituição por outras coberturas e usos da terra (agricultura, pastagem, área urbana, hidroelétricas etc.). A área pode ainda ser abandonada e entrar em um processo de regeneração.

Metodologia de Identificação dos Desmatamentos

Atlas- MA

Com análises no período de 12 meses, de outubro de um ano até setembro do ano seguinte, o Atlas dividi toda área de aplicação da Lei de Mata Atlântica em quadrículas de escala 1:50.000, referência para o acompanhamento do processo de monitoramento em tela de computador, os processos ocorrem por estado conforme a disponibilidade de imagens sem cobertura de nuvens.

A identificação dos desflorestamentos ocorre pela comparação da área de remanescentes naturais vetorizada no período anterior (máscara de áreas naturais), com as imagens de satélite do período atual. O mosaico de imagens Sentinel é produzido utilizando os pixels de mediana de cada imagem após a remoção de ruídos (nuvens e sombra) do período agosto a outubro, mas imagens de novembro e dezembro podem ser consultadas para evitar omissões no mapeamento em áreas críticas ou com muita cobertura de nuvem. O mosaico de imagens é processado no Google Earth Engine e exportado em Geotiff.

As áreas com sinais de remoção da mata são comparadas com a imagem do período anterior com o objetivo de confirmar se os sinais de alteração já estavam presentes na imagem anterior ou se são realmente novas alterações da cobertura vegetal, se confirmado as novas alterações, procede-se à delimitação da área desflorestada no período.

Após a identificação do desflorestamento, o intérprete compara a área com imagens históricas (2015, 2010, 2005 etc.) para confirmar se realmente é uma área de vegetação

natural. A última checagem realizada pelo intérprete consiste em visualizar a área delimitada sobre imagens de alta resolução espacial do Google

Earth. Usualmente, as imagens do Google Earth são mais antigas e permitem a confirmação de que a área atualmente desmatada era realmente uma formação natural.

Quando existem imagens do Google Earth mais recentes, também é possível confirmar o desmatamento com a imagem de alta resolução.

MapBiomias - MA

Baseado no mapa de biomas gerais do Brasil, produzido pelo IBGE na escala 1:250.000, o MapBiomias produz mapas de uso e cobertura da terra identificando fragmentos maiores que meio hectare, por meio de imagens de satélite Landsat e independente do seu estado de conservação. Utilizando-se de imagens de reflectância da superfície dos sensores Landsat 5 (TM), 7 (ETM+) e 8 (OLI), os melhores pixels da série anual são selecionados, obtendo-se a mediana para todas as bandas para gerar os mosaicos anuais. Com análise visual de imagens com até 50% de cobertura de nuvens, coletadas no período de abril a setembro quando há menor probabilidade de nuvens.

Para possibilitar o procedimento de classificação digital automático, realizado todo na plataforma Google Earth Engine (GEE), o processamento é realizado considerando 30 regiões homogêneas na Mata Atlântica, e 10 classes de uso e cobertura da terra. São consideradas formações florestais: Florestas naturais (excluindo-se florestas plantadas) - áreas com mais de 0.5 ha, árvores maiores de 5 m de altura e cobertura arbórea para cada formação florestal variável: cobertura de copa > 80% para Floresta de Ombrófilos Densa e Floresta Ombrófila Mista; e cobertura de copa > 60% para Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Decidual e Floresta Estacional Semidecidual.

A partir das imagens Landsat são extraídos 36 atributos (bandas e índices) que são selecionados pela análise de importância de feições do classificador Random Forest

(Breima, 2001), considerando todas as bandas e 500 interações. A classificação é feita por pixel, para cada uma das 30 regiões, para cada ano, com o algoritmo Random Forest, utilizando para treinamento pixels que não mudaram nos 35 anos, considerados “amostras estáveis”. Como fonte de amostras, utilizam a Coleção 5 do MapBiomas, com polígonos desenhados manualmente e amostras complementares. O número de amostras de cada classe é definido para cada região por análise visual e pela precisão da classificação da Coleção 5. Para todos os anos usa-se o mesmo subconjunto de amostras e realiza-se o treinamento no mesmo mosaico do ano classificado.

Em síntese o MapBiomas, utilizando o mapa de biomas gerais do Brasil, produzido pelo IBGE na escala 1:250.000, produz mapas de uso e cobertura da terra identificando fragmentos maiores que meio hectare, por meio de imagens de satélite Landsat e independente do seu estado de conservação. Por meio de classificação automática, observa ainda a dinâmica de florestas jovens, mede a regeneração ou o surgimento de novos fragmentos, assim como o corte deste tipo de vegetação.

PRODES – MA

O mapeamento do desmatamento no bioma Mata Atlântica segue a metodologia desenvolvida e utilizada nos Projetos PRODES-Amazônia e PRODES-Cerrado: análise visual em escala 1:75.000; vetorização manual de polígonos de desmatamento, maiores que 1ha no caso da Mata Atlântica; em imagens de média resolução espacial, principalmente, dos satélites da série Landsat.

Para a MA, o Mapa Base para 2016 foi inicialmente produzido, a partir de composição colorida - RGB564 (OLI/Landsat 8), submetida a realce de contraste por manipulação de histograma, e segmentação por Crescimento de Regiões (Similaridade: 50 e Área (pixels): 20). Todos os segmentos passaram por análise e edição do intérprete para posterior classificação. A partir da legenda definida para o Mapa Base, fez-se o mapeamento da série histórica bienal, com a atualização dos polígonos por interpretação visual,

considerando as classes: desmatamento (áreas agrícolas, pastagem ou pousio, mineração, cicatriz de queimada, área urbana, reflorestamento), hidrografia (reservatório, água) e não observado (nuvem, sombra de nuvem, sombra de relevo). Não são mapeadas: área natural não vegetada, áreas inundáveis, formações naturais florestais ou pioneiras, mata de araucária e formações naturais campestres.

Acurácia das Informações

Atlas – MA

O Atlas realiza um controle de qualidade após as análises de desmatamento, todo desmatamento identificado é analisado por um outro intérprete para qualificar o grau de certeza da informação. Os polígonos de desmatamento identificados a partir de imagens que não fornecem um bom grau de confiança, como pela presença de nuvens ou sombras, e todos os desmatamentos com menos de três hectares, são classificados como “indício de desmatamento”. Esse “indício de desmatamento” não é computado para a estimativa de desmatamento do ano vigente e não é divulgado. Os indícios são mantidos na base de dados e serão considerados como referência para uma nova observação no próximo período.

MapBiomias -MA

Após a classificação o MapBiomias realiza estratégias de validação, são necessárias várias filtragens: Filtro para preenchimento de intervalo temporal, Filtro espacial, Filtro de frequência, Filtro temporal, Filtro de incidentes, Filtro para áreas úmidas (HAND), e a Classificação da Restinga Arborizada. Para validação são utilizados 14.487 pontos independentes, para cálculo das medidas de acurácia. Os resultados referentes ao desmatamento são obtidos a partir das análises das trajetórias das diferentes classes de uso e cobertura mapeadas ao longo do período de 1985 a 2020.

PRODES – MA

O PRODES um fluxo do controle de qualidade que é realizado nas dimensões internas e externas à produção dos dados. O controle interno diz respeito às auditorias aplicadas pela equipe dedicada ao Projeto. Nessa fase, todas as porções do mapa, à medida em que são produzidas, são submetidas à análise dos técnicos designados como auditores. A auditoria interna prevê a correção das inconsistências identificadas até que as porções (cenas) sejam aprovadas para continuidade do fluxo. Durante a auditoria interna os especialistas do INPE são consultados em pontos específicos de dúvidas.

Na fase de auditoria externa, os especialistas externos à equipe dedicada ao Projeto são consultados acerca de pontos específicos de dúvidas durante a confecção dos mapas. Esses especialistas têm a possibilidade ainda de avaliarem o mapa completo, cabendo ainda correções aos produtos antes da divulgação.

Resultado de desmatamento período de 2020 a 2021

O período de desmatamento analisado neste relatório corresponde ao período de 2020 a 2021, divulgados no Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2020-2021 Relatório Técnico, SOS Mata Atlântica, 2022; no Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra no Brasil (1985 - 2020) Destaques do mapeamento anual de cobertura e uso da terra do bioma Mata Atlântica entre 1985 a 2020, Coleção 6, MapBiomias, 2021; e no Relatório De Referência Metodológica Dos Subprojetos 1 A 4, INPE – FUNCATE, 2022.

Atlas – MA

Os resultados quantitativos globais e parciais, dos 17 estados avaliados no período de 2020 e 2021, apresentaram que da área total de 130.973.638 hectares da Área de Aplicação da Lei da Mata Atlântica, 86,8% foram avaliados; 11,2% foram parcialmente

avaliados, por conta de imagens parcialmente cobertas por nuvens e 2,1% não foi possível avaliar, pela indisponibilidade de imagens.

A área total de desflorestamento (classe Mata – Remanescentes Florestais monitorada historicamente pelo Atlas, acima de três hectares) identificada nas áreas dos 17 estados da Mata Atlântica, no período 2020-2021, foi de 21.642 ha. Isto equivaleria a 59 hectares por dia ou 2,5 hectares por hora. Assumindo-se o estoque de carbono utilizado pelo SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa), do Observatório do Clima, de 130 toneladas de carbono por hectare de floresta, o desmatamento do período resultou na emissão de 10,3 milhões de toneladas de CO₂ equivalente na atmosfera. Comparando a supressão da floresta nativa nos mesmos 17 estados mapeados, no período 2019-2020, houve um aumento de 66% na taxa de desmatamento, em relação ao ano anterior. O valor foi o mais alto desde 2015 e 90% maior do que o menor valor da história, alcançado em 2018.

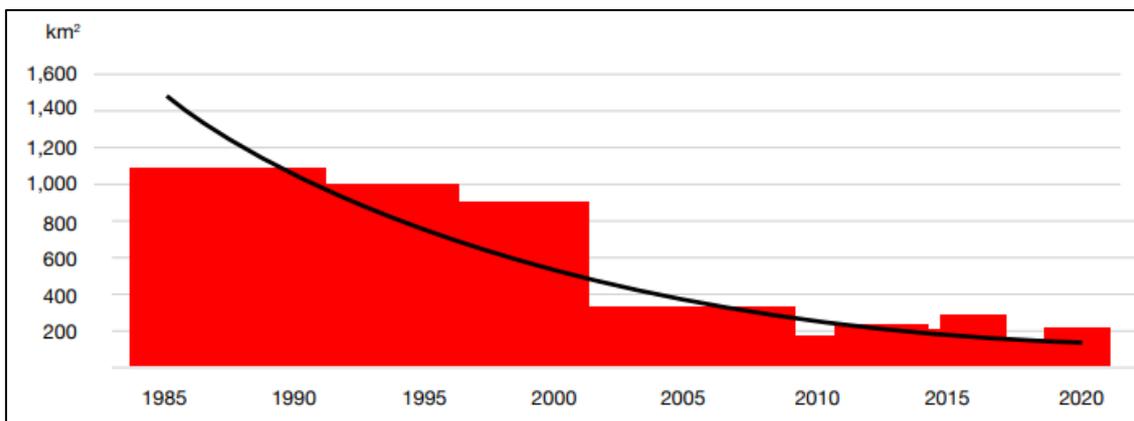
A Figura 3, apresenta a Área total e taxa de desmatamento identificadas pelo Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica 2020-2021. A Evolução Histórica da Taxa de Desmatamento e Média Exponencial é apresentada na Figura 4.

Figura 3. Histórico de desmatamento observado desde 1985, início do monitoramento dos remanescentes pelo Atlas.

Desmatamento Observado	Total Desmatado (ha)	Intervalo (anos)	Taxa anual (ha)
Período de 2021-2022	20.075	1	20.075
Período de 2020-2021	21.642	1	21.642
Período de 2019-2020	13.053	1	13.053
Período de 2018-2019	14.375	1	14.375
Período de 2017-2018	11.399	1	11.399
Período de 2016-2017	12.562	1	12.562
Período de 2015-2016	29.075	1	29.075
Período de 2014-2015	18.433	1	18.433
Período de 2013-2014	18.267	1	18.267
Período de 2012-2013	23.948	1	23.948
Período de 2011-2012	21.977	1	21.977
Período de 2010-2011	14.090	1	14.090
Período de 2008-2010	30.366	2	15.183
Período de 2005-2008	102.938	3	34.313
Período de 2000-2005	174.828	5	34.966
Período de 1995-2000	445.952	5	89.190
Período de 1990-1995	500.317	5	100.063
Período de 1985-1990	536.480	5	107.296

Fonte: SOS Mata Atlântica (2022).

Figura 4. Taxa de desmatamento e média exponencial para a série histórica de mapeamento do Atlas.



Fonte: SOS Mata Atlântica (2022).

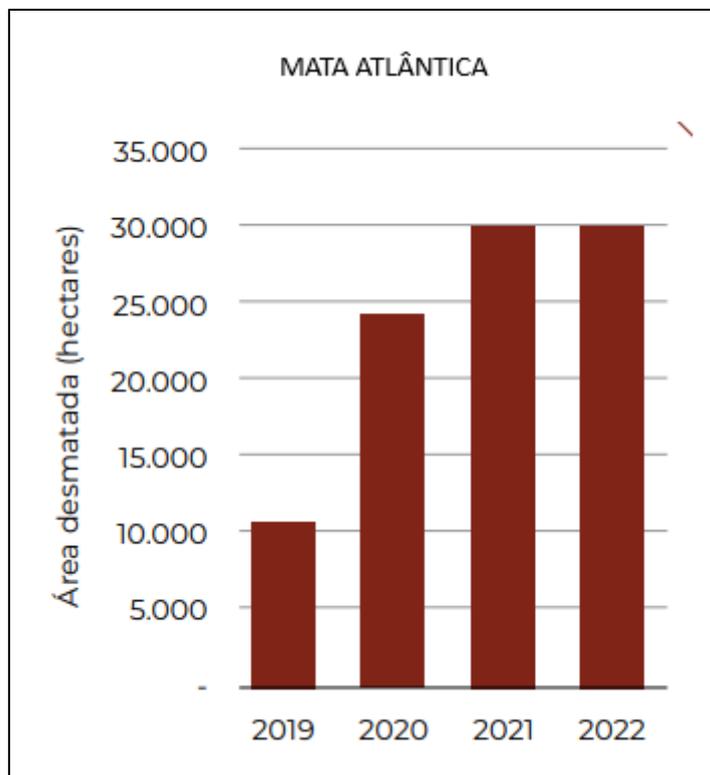
O Atlas não tem o propósito de investigar a legalidade ou ilegalidade dos desmatamentos detectados. Os dados do Atlas são oferecidos para as autoridades públicas para que tomem as medidas para a verificação da legalidade ou não dos desmatamentos detectados e para que tomem as devidas medidas de fiscalização e punição.

MapBiomias

Segundo o MapBiomias a Mata Atlântica teve 30,2 mil ha desmatados em 2021. No Bioma Mata Atlântica, predomina o desmatamento em formações florestais. A maior parte das áreas desmatadas se concentra em áreas em vazios fundiários (áreas privadas ainda não cadastradas no CAR). O maior desmatamento detectado no bioma Mata Atlântica em 2021 (alerta Cód. 444567) tem área de 455 ha e ocorreu no município de São João do Paraíso, em Minas Gerais. Segundo a Diretoria de Fiscalização da Semad-MG, não consta autorização emitida pelo órgão e a área já foi alvo de fiscalização em maio deste ano com a suspensão das atividades.

O Desmatamento nos Biomas cresceu 22,3% em 2022, menos no Bioma Mata Atlântica, que teve redução de aproximadamente -0,6% entre 2021-2022. A Figura 5 apresenta a evolução do desmatamento na Mata Atlântica de 2019 a 2022.

Figura 5. Desmatamento da Mata Atlântica 2019-2022

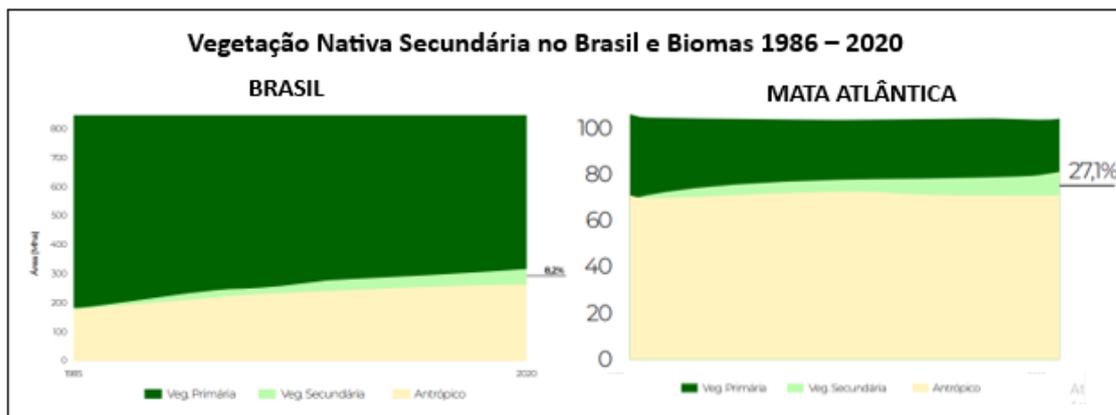


Fonte: MapBiomas (2022).

Os problemas de desmatamento ainda se agravam com a perda de 23% de floresta madura entre 1985 e 2021. Em 37 anos, 9,8 milhões de hectares de vegetação primária foram suprimidos, enquanto 8,8 milhões de hectares regeneraram-se em vegetação secundária, que representam 26% de toda a cobertura florestal da Mata Atlântica, 1 em cada 4 hectares da vegetação nativa na Mata Atlântica é de vegetação secundária.

A Figura 6 apresenta a evolução da vegetação nativa secundária no Brasil e Bima Mata Atlântica no período de 1986-2020. No Brasil a vegetação secundária representa 8,2% da vegetação nativa e 27,1% Bima Mata Atlântica.

Figura 6. Vegetação nativa secundária no Brasil e no Bima Mata Atlântica de 1986-2020



Fonte: MapBiomas (2022).

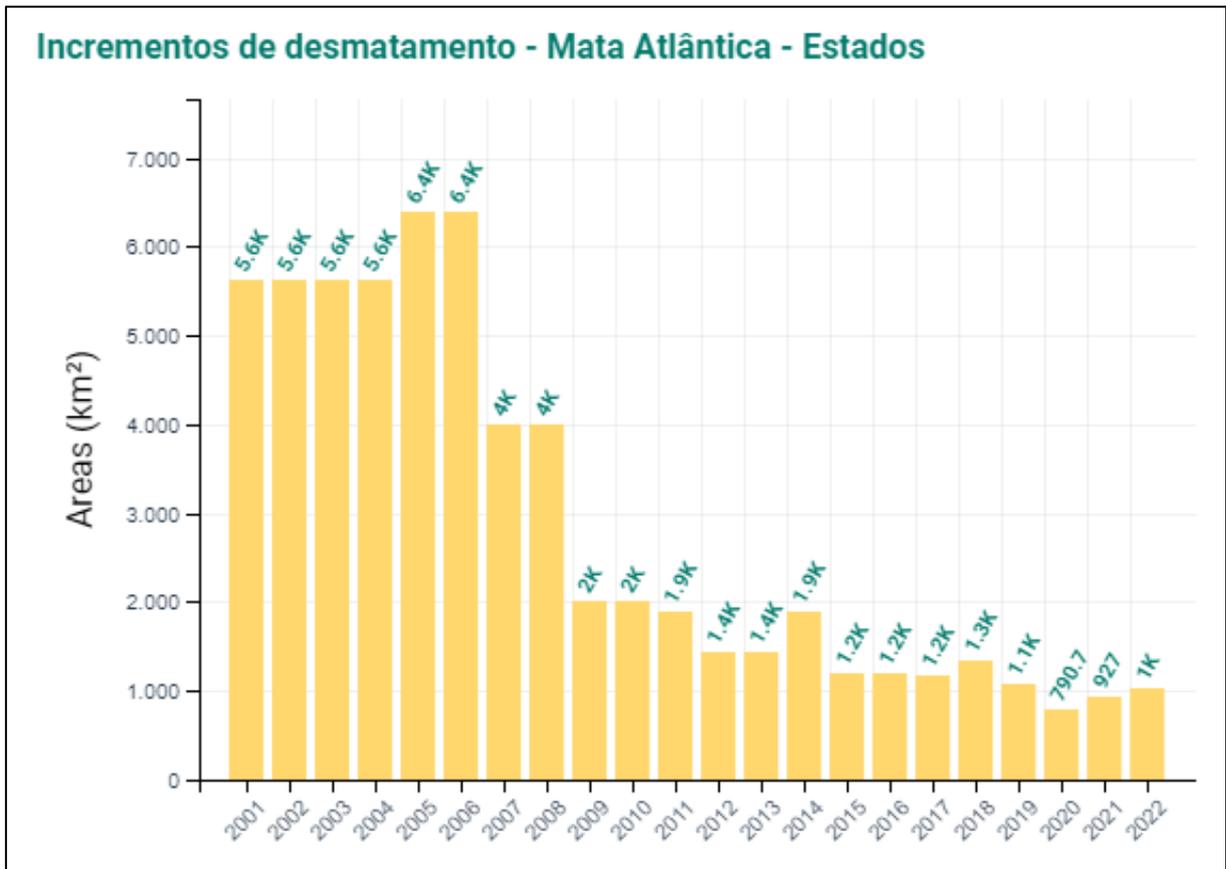
Segundo o PRODES Brasil restam 59,02 % (5.022,533 Km²) de vegetação natural remanescentes, e o desmatamento em 2021 foi de 3,28 % (26.093 Km²). No Bioma Mata Atlântica restam 27,89% (308,667 Km²) de Vegetação natural vegetação natural remanescentes, e o desmatamento em 2021 foi de 0,86% (9.557 Km²).

O PRODES defini como desmatamento a remoção total de uma área de vegetação primária, sem intervenção antrópica anterior, ocorrida em áreas superiores a 6,25 hectares para o bioma Amazônia e de 1 hectare para os demais biomas.

Utilizando imagens de satélite de observação da terra, em todo território em toda delimitação do Bioma Mata Atlântica, no período de 2020 a 2021, demonstrou que no período o incremento de desmatamento foi de 927 km², apresentando um crescimento em relação ao período anterior, 790,7 Km². Entre 2021-2022 o desmatamento continuou crescendo e o incremento de desmatamento foi mil km² de vegetação primária, Figura 7.

A Figura 8. Apresenta os incrementos acumulados no período pelo ranking de estados que mais desmataram, ficando Minas Gérias como o que mais desmatou com taxa em 22.62%, seguido da Bahia com 21,89% de desmatamentos. Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul foram o que menos desmamaram taxa 1% cada.

Figura 7. Incrementos de desmatamento na Mata Atlântica



Fonte: TerraBrasilis (2023).

Figura 8. Incrementos de desmatamento acumulados nos estados da Mata Atlântica



Fonte: TerraBrasilis (2023).

Quadro Síntese

Cada sistema de monitoramento da Mata Atlântica, apresentam objetivos, metodologias e sistemas de análises próprios. A Tabela 1, apresenta-se algumas características

específicas que poderão elucidar as principais categorias analisadas entre os três sistemas de monitoramento da Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica, MapBiomias e PRODES-MA).

Tabela 1. Quadro-síntese das principais categorias analisadas entre os três sistemas de monitoramento da Mata Atlântica, SOS Mata Atlântica (SOS MA), MapBiomias e PRODES Mata Atlântica (PRODES-MA).

Características	SOS MA	MapBiomias	PRODES-MA
Ano de Criação	1989	2015	2022
Instituto Responsável	Fundação SOS Mata Atlântica	MapBiomias	INPE
Iniciativa	Cientistas, empresários, jornalistas e defensores da questão ambiental	SEEG/OC, universidades, ONGs e empresas de tecnologia	REDD+, GEE e PNMC
Objetivo	Defender os últimos remanescentes de Mata Atlântica no país	Desenvolver uma metodologia mais rápida, barata, sem perda de qualidade e criação de série histórica	Desenvolver uma metodologia de monitoramento de desmatamento na Amazônia e demais Biomas
Objetivo Específico	Determinar a distribuição dos remanescentes da Mata Atlântica, monitorar as alterações da cobertura vegetal nativa e gerar informações permanentemente atualizadas sobre o Bioma.	Contribuir para o entendimento da dinâmica da LCLU no Brasil, com a elaboração de mapas digitais anuais de cobertura e uso do solo (LCLU).	Realizar o aprimoramento e a aplicação de metodologias de detecção do desmatamento nos Biomas Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal para gerar informações estratégicas para a gestão territorial do país.

Desenvolvimento de Metodologia	INPE	MapBiomass	INPE
Limite Considerado	Limite da Lei da MA	Limite da Lei da MA e Bioma MA	Bioma MA
Série Histórica	1985 a 2022	1985 a 2022	2016 - base 2004-2018 - bianual > 2019 - anual
Objeto Mapeado	Remanescentes florestais conservados	Uso e Cobertura da Terra - cobertura florestal (qualquer)	Cobertura Florestal original
Área Mapeada	polígonos > 3 ha	pixel 30m	polígonos > 1ha
Escala	1:50.000 em tela	n.a.	1:75.000 em tela
Sensor	MSI/Sentinel-2	Landsat Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e o Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor (OLI-TIRS)	TM/Landsat5, ETM+/Landsat7 e OLI/Landsat8
Imagens	Landsat / Sentinel	Landsat	Landsat
Resolução	30 - 10 m	30 m	30 m
Processamento	Interpretação visual em tela	Classificação RF	Interpretação visual em tela
Período de Coleta	agosto a outubro	abril a setembro	n.a.
Legenda de Mapeamento	Remanescentes florestais, ecossistemas e Áreas Naturais não florestais	Combinação de classes LULC	Classes de Desmatamento e Classe de Não Observado
Legenda de "desmatamento"	Decremento Florestal, Classes de cobertura	Classes de uso e cobertura	Desmatamento

Identificação de perda de vegetação	Corte raso remoção total (ou quase total) da cobertura florestal original	Desmatamento de vegetação primária, secundária, desmatamento bruto	Remoção completa da cobertura florestal em um curto intervalo de tempo
Acurácia	Segundo intérprete e imagens do Google Earth	Filtros de imagens	Fluxo do controle de qualidade
Area Total Desmatada	21.642 ha	30.155 ha	9.557 ha
Primeira Publicação	1990	2016	2022
Última Publicação	Atlas 2021-2022	Coleção 7. 1985-2021	Nota Técnica 2000-2023
Contribuições para preservação	Legislações de políticas públicas em defesa do Bioma	Expansão dos sistemas para outras temáticas e países. Criação do MapBioma Alerta, RAD, Fogo, Água, Solo, Árida e demais biomas brasileiros e estrangeiros.	Criação de Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas, DETER e TerraClass

4. CONCLUSÃO

Em suma, realizou-se a identificação das principais características de cada sistema de monitoramento da Mata Atlântica, SOS Mata Atlântica, MapBiomas e PRODES Mata Atlântica. Os dados levantados foram organizados em tópicos: Origem dos sistemas de monitoramento; Limites da Mata Atlântica considerados; Produtos de sensoriamento remoto; Critérios de mapeamento; Legenda adotada; Critério de identificação de perda de vegetação; Metodologia de identificação de desmatamento; Acurácias de Informações; e Índice de desmatamento. As características específicas de cada sistema foram apresentadas em Quadro Síntese, elucidando a origem, os objetivos, a metodologia, índice de desmatamento e as contribuições para a preservação do Bioma Mata Atlântica.

Por volta do ano de 1989 a comunidade científica, empresários, jornalista, ONGs e defensores da questão ambiental, levantaram a necessidade de se criar mecanismos de monitoramento para os Biomas brasileiros, entender a dinâmica do uso do solo no território brasileiro, saber o quanto, onde, e o porquê, do aumento do desmatamento em todo país. Tendo em comum o anseio de preservar a vegetação nativa, inibir a perda de biodiversidade, a perda da funcionalidade ecológica do Biomas, e produzir subsídios para criação de políticas públicas ambientais, sistemas de monitoramento foram criados. Os principais sistemas de monitoramento da Mata Atlântica são o SOS Mata Atlântica, MapBiomas e PRODES, que com a evolução da tecnologia, a criação da inteligência artificial, o desenvolvimento de satélites e software cada vez mais eficientes, criaram metodologias mais rápidas, baratas e com maior qualidade e precisão.

Por fim, com a sintetização dos dados levantados, percebemos que cada sistema tem a sua própria metodologia, o Atlas denomina “desmatamento”, como “Decremento Florestal”, mapeia áreas Remanescentes florestais conservados, em polígonos maiores que 3 hectares, na área limite da Leia da Mata Atlântica com série temporal desde de 1985, utiliza imagens Landsat e Sentinel, com resolução de 30 metros, com interpretação visual em tela. Já o MapBiomas baseada na reflectância da superfície dos sensores Landsat, em pixel de 30m, mapeia qualquer cobertura florestal e utiliza classificação por classes de uso e cobertura da terra, apresenta dados de desmatamento de vegetação primária e secundária. O PRODES desenvolvido primeiramente para monitorar a Amazônia passa a cobrir todos os Biomas brasileiros, utiliza imagens Landsat com resolução em 30 metros, com interpretação em tela, em polígonos maiores que 1 hectare no limite do Bioma Mata Atlântica, em áreas de cobertura florestal original, e considera “desmatamento” a remoção completa da cobertura florestal em um curto intervalo de tempo.

No período de 2020-2021, o Atlas informou que a área total de desmatamento na Mata Atlântica foi de 21.642 ha, o MapBiomas informou que a área desmatada foi de 30.155

ha, e o PRODES-MA afirma que o desmatamento foi de 9.557 ha. A diferença do quanto se desmatou na Mata Atlântica, no período, está atrelado as diferentes abordagens técnicas e metodologias utilizadas. Os sistemas de monitoramento utilizam critérios de avaliação, sensores, processamentos distintos. Cada sistema considera um limite, tamanho de área e objeto mapeado de uma forma, utilizam imagens, sensores e processamento de imagens diferentes. Com tanta singularidade os dados não poderiam ser semelhantes.

O fato de cada sistema de monitoramento da Mata Atlântica apresentar diferenças na taxa de desmatamento, não quer dizer que um sistema ser melhor que o outro. As diferentes técnicas e metodologias são benéficas para a preservação do Bioma, abrangem diferentes nichos, se complementam, criam possibilidades e contribuem para criação de políticas públicas mais assertivas.

Em 2023, publicamos um artigo científico com as informações e análise previa dos temas abordados neste relatório, o artigo foi de autoria de Silvana Amaral, Mariana M. S. Cursino, Cláudio A. Almeida, publicado no Anais, XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, com o título: Monitoring Atlantic Forest Deforestation By Remote Sensing System. O artigo é apresentado Anexo – A.

REFERÊNCIAS

Amaral. S., Cursino.M.M.S.,Almeida.C.A. Monitoring Atlantic Forest Deforestation By Remote Sensing Systems, Anais, XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 2 a 5 de 2023. INPE, 2023.

Bastos, Natasha Zadorosny Lopes. Considerações sobre a Lei da Mata Atlântica (LEI 11.428/2006). Departamento de Direito. PUC do Rio de Janeiro. 42 páginas, 2015.

Capobianco, J.P.R.,Lima.A.R. Mata Atlântica: avanços legais e institucionais para a sua conservação. Documentos do ISA, nº04, setembro de 1997.

Cunha. André de Almeida, Expansão da rede de unidades de conservação da Mata Atlântica e sua efetividade para a proteção das fitofisionomias e espécies de primatas: análises em sistemas de informação geográfica/ André de Almeida Cunha – Belo Horizonte: UFMG/ICB/PPG-ECMVS, 2010.

Gelain, A.J.L. Lorenzetti, D.B.Neuhaus.S.M.rizzatti.C.B. Desmatamento no Brasil: um Problema Ambiental. Revista Capital Científico – Eletrônica (RCCe) – Guarapuava – Paraná – Brasil - ISSN 2177-4153. Recebido em 15/02/2011 – Aprovado em 15/06/2012.

IBGE. Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000 - RJ: IBGE, 2019. 168 p. (ISSN 0101-2843; v. 45). 3

IBGE. Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428 de 2006. 1:5.000000. (2012).

IBGE. Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428 de 2006. 1:5.000000. (2012).

INPE - FUNCATE. Almeida et al., 2022. Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros por Satélites: Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal - Relatório de.

INPE. Metodologia Utilizada nos Projetos PRODES e DETER (2019). Acesso 10/08/2023.http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/Metodologia_Prodes_Deter_revisada.pdf .

INPE, 2018. Metodologia da detecção do desmatamento no Bioma Cerrado Acesso em 10/10/2022. Disponível em: [IBGE. Contas de Ecossistemas: Uso da Terra nos Biomas Brasileiros \(2000-2018\) IBGE, Rio de Janeiro, 2020. 95p. 2020.](http://cerrado.obt.inpe.br/wp-Lindenmayer D.B.; Fischer J. Habitat Fragmentation and Landscape Change: An Ecological and Conservation Synthesis. Washington: Island Press, 2006. 329 p.</p></div><div data-bbox=)

Mittermeier, R.A, et al. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. In: Zachos, F.E.; Habel, J.C. (Eds.). Biodiversity Hotspots. Springer, Berlin, Heidelberg, pp.3–22, 2011.

Projeto MapBiomias – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra na Mata Atlântica - Coleção 6”, accessed 22/08/23, <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact-Sheet-Mata-Atlantica.pdf>.

Coleção 7”, accessed 22/08/23, <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact-Sheet-Mata-Atlantica.pdf>.

Breiman, L. Random forests. Machine learning, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.

MapBiomias Atlantic Forest Trinational, Collection 1. Version 1. https://mapbiomas-tri-mataatlanticasite.s3.amazonaws.com/download/Cole%C3%A7%C3%A3o_1/ATDB_At-lantic-Forest-Trinational.pdf, acesso em 10/8/2023

Referência Metodológica dos Subprojetos 1 a 4 (v1). [http://biomas.funcate.org.br/](http://biomas.funcate.org.br/Acesso em 10/8/2023)

[content/uploads/2019/08/report_funcate_metodologia_mapeamento_bioma_cerrado.pdf](http://biomas.funcate.org.br/content/uploads/2019/08/report_funcate_metodologia_mapeamento_bioma_cerrado.pdf)

Pinto, L.P. 30 anos de conservação do Hotspot de Biodiversidade da Mata Atlântica: desafios, avanços e um olhar para o futuro. Pinto, L.P.; Hirota, M. (org), São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2022.

MapBiomias. Destaques RAD 2021 – Relatório do desmatamento no Brasil, junho de 2022.

MapBiomias. Destaques RAD 2022 – Relatório do desmatamento no Brasil, junho de 2023.

MMA. ENREDD+ Depto de Políticas de Combate ao Desmatamento. Brasília: MMA, 2016. 48 p. (ISBN: 978-85-7738-263-7), 2016.

Rezende, C.L. et al. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Persp.in Eco and Conserv*, (16): 208-214. 2018

Ferreira et al. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. *Remote Sensing* 12(24), 4033. 2020

Camara, G. et al. e-sensing/sits: v.1.12.5; Zenodo: Geneva, Switzerland, 2018.

Soto et al. Deforestation detection with weak supervised convolutional neural networks in Tropical Biomes.v.XLIII-B3-2022 XXIV ISPRS, 2022.

ANEXO

ANEXO A – Artigo Científico

MONITORING ATLANTIC FOREST DEFORESTATION BY REMOTE SENSING SYSTEMS

Silvana Amaral, Mariana M. S. Cursino, Cláudio A. Almeida

Earth Observation and Geoinformatics Division, National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brazil

{silvana.amaral, mariana.cursino, claudio.almeida}@inpe.br

ABSTRACT

The Brazilian Atlantic Forest (MA) is a biodiversity hotspot, subject to historic and intense deforestation. Currently, three main monitoring systems based on satellite images monitor deforestation in the MA: The Atlas of forest remnants (SOS Mata Atlântica/INPE), MapBiomias, and PRODES-MA. To understand the contribution of each system and better interpret its results, this work presents their differences in concepts, methodologies, and characteristics. The Atlas has been fundamental for the definition of municipal and state public policies. MapBiomias highlights the main land cover conversions, and PRODES-MA is a reference for the national climate change policy. The methodological advances foreseen with the use of better-resolution images and semi-automatic detection techniques are also identified. Observing the nature, advantages, and limitations of each system enables us to identify the complementarity of the information to better communicate monitoring data and contribute to the prevention, control, and mitigation of deforestation in the Atlantic Forest.

Keywords - Atlantic Forest; deforestation; monitoring; remote sensing.

1. INTRODUCTION

The Brazilian Atlantic Forest (MA) is composed of a mosaic of forest and non-forest ecosystem remnants. It is a biodiversity hotspot containing 2420 vertebrate species and 20,000 plant species, with high levels of endemism and 1923 threatened species [1]. The MA occurs in 15% of the national territory, 17 states, and 3249 municipalities, and is the only Brazilian biome whose predominant cover class is not natural vegetation cover [2]. Also according to IBGE [2], in 2018, forest vegetation represented only 12.6% of its territory, and it was considered the biome with the highest population density, with 49.3% of Brazilian urban areas. There are about 145 million inhabitants or 72% of Brazil's population, and houses traditional communities, *quilombolas*, and indigenous peoples. Approximately 70% of the national GDP is produced in MA and at the same time, most of the springs and water sources that supply the large cities of the region are found in MA. These MA particularities are due to its history of occupation and urbanization from the coastal areas towards the interior, in the Brazilian territorial formation [2]

Since 1989, the SOS Mata Atlântica Foundation, in collaboration with the National Institute for Space Research - INPE, has monitored deforestation activities by publishing the Atlas of Forest Remnants in the Atlantic Forest. Currently, the MapBiomias and Prodes-MA projects, also

based on remote sensing data, have contributed to monitoring forest conversions in the MA. But what is the contribution of each system? How to interpret or communicate the different numbers and results for the MA?

In this context, this paper presents the main satellite monitoring systems of deforestation in the Atlantic Forest - Atlas of forest remnants from SOS Mata Atlântica/INPE, MapBiomias, and PRODES-MA. The objective is to discuss their characteristics and methodological and conceptual differences in the light of remote sensing, their products, and results, as well as prospects for methodological improvement.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Study Area - the limits of the Atlantic Forest

The Atlantic Forest Biome (BMA) comprises 1,110,182 km² and it is an environmental complex that includes mountain ranges, plateaus, valleys, and plains throughout the Brazilian eastern Atlantic continental margin [3]. The BMA constitutes the great extra-Amazonian forest complex, formed by Ombrophylous Forests - Dense, Open, and Mixed; and Seasonal Forests - Semideciduous and Deciduous.

In 2006, the Federal Atlantic Forest Law (11.428/2006 and Decree 6.660/2008) was approved. This Law regulates the protection and use of the original configuration of native forest formations and their associated ecosystems in the MA. The Application Area of the Law corresponds to 1.309.736 km², and was delimited by IBGE [4], on the scale of 1:5.000.000. It comprises vegetation typologies that occur entirely in the BMA and also in the vegetation disjunctions in the Northeast or other regions, according to specific CONAMA, the Brazilian National Environment Council, resolutions for each state (Law 11.428 of 22.12.2006).

2.2. The Atlantic Forest monitoring systems

2.2.1. The Atlas of Forest Remnants of the Atlantic Forest

The Atlas of Forest Remnants of the Atlantic Forest [5] began in 1989. The first mapping was released in 1990, at the scale of 1:1,000,000, and by photointerpretation of Landsat images' color compositions. The methodology is based on the visual interpretation of Landsat images on screen, at a scale of 1:50,000. Deforestation areas smaller than 3 ha are not published, but considered as evidence and checked in the next

period. Images from the second semester are generally selected, with October as the reference month.

The identification of deforested areas (or Decrement) is obtained by comparing the natural vegetation remnants from images of the previous period (or mask of natural areas). It is considered forest remnants: primary and secondary forests in initial, medium, and advanced stages of regeneration since they are areas of vegetation that have less anthropic interference and greater capacity to protect their original Atlantic Forest biodiversity.

The mapping considers the following classes: Forest Remnants; Deforestation (in Forest monitored by the Atlas); Forest *Restinga* Remnants; Forest *Restinga* Decrement; Mangrove Vegetation Remnants; Mangrove Vegetation Decrement; Non-forested Natural Areas: Pioneer Formations in Floodplains; Natural High-Altitude Fields; Vegetation Refuges; Dunes; Herbaceous *Restinga*; *Apicum*; Marshland and Humid Field.

As a tool for defining public policies, the mapping considers the limits of the Application Area of the MA Law, which were refined using the Brazilian vegetation map RADAM (1:1,000,000) as a reference. After delimitation, the deforestation polygons are confirmed on Landsat images from the historical series and high-resolution images (Google Earth). A second interpreter evaluates the identification and delimitation of all polygons.

The general release of the mapping occurs on May 27, the National Day of the Atlantic Forest. The files concerning the Atlas and the mapping are available for download (<https://www.sosma.org.br/iniciativas/atlas-da-mata-atlantica/>), and the remnants per municipalities can be viewed on "Aqui tem Mata" (<https://www.aquitemmata.org.br/#/>)

2.2.2. Mapbiomas – Atlantic Rainforest

In 2021, the MapBiomas project, in the scope of Collection 6, released the annual Mapping of Land Cover and Land Use in Brazil (1985-2020) - Atlantic Forest Highlights, from the annual land cover maps from 1985 to 2020 [6]. This work only discusses the results of Collection 6, since the MA deforestation data in Brazil in 2022 had not yet been compiled, when this article was written.

Using surface reflectance images from Landsat 5 (TM), 7 (ETM+), and 8 (OLI) sensors, the best pixels of the annual series are selected, obtaining the median for all bands to generate the annual mosaics. From April to September there is a lower probability of clouds, the period considered to select, by visual analysis, images with up to 50% cloud cover.

To enable the automatic digital classification procedure, performed entirely on the Google Earth Engine (GEE) platform, the processing is performed considering 30 homogeneous regions in the Atlantic Forest, and 10 land use and land cover classes. Forest formations are defined by: Natural forests (excluding planted forests) - areas larger than 0.5 ha, trees taller than 5 m, and tree cover variable according to each forest formation: canopy cover > 80% for Dense

Ombrophilous Forest and Mixed Ombrophilous Forest; and canopy cover > 60% for Open Ombrophilous Forest, Seasonal Deciduous Forest, and Seasonal Semideciduous Forest.

From Landsat images, 36 attributes (bands and indices) are extracted and selected by the feature importance analysis of the Random Forest classifier [7], considering all bands and 500 interactions. The classification is done per pixel, for each of the 30 regions, for each year, with the Random Forest algorithm. It uses for training those pixels that have not changed in the 35 years, considered "stable samples". The MapBiomas Collection 5 is used as a source of samples, with manually drawn polygons and complimentary samples. The number of samples for each class is defined for each region by visual analysis and by the classification accuracy of Collection 5. For all years the same subset of samples is used and training is performed on the same mosaic of the classified year.

After classification, several filtering is required: Time Range Filling Filter, Spatial Filter, Frequency Filter, Temporal Filter, Incident Filter, Wetland Filter (HAND), and the Wooded *Restinga* Classification. For validation, 14,487 independent points are used to calculate the accuracy measures. The results referring to deforestation are obtained from the analyses of the trajectories of the different classes of use and cover mapped over the period 1985 to 2020.

In 2022, with Collection 7, the "MapBiomas Atlantic Forest Trinational, Collection 1" was launched, which extends the monitoring to the entire extent of the Atlantic Forest domain in South America, including its extension in Argentina and Paraguay [8].

2.2.3. PRODES-MA - INPE

The Project "Environmental Monitoring of Brazilian Biomes by Satellites: Atlantic Forest, Caatinga, Pampa and Pantanal" of INPE [9] was designed to meet the National REDD+ strategy, a mechanism for payments for avoided emissions of Greenhouse Gases (GHG) by reducing deforestation and forest degradation, to consolidate efforts to meet the goals set out in the National Policy on Climate Change (PNMC). To meet the national REDD+ strategy, the Ministry of Environment (MMA) published Ordinance 365/2015, which established the Biomes Environmental Monitoring Program (PMABB). Among PMABB objectives is the construction of a historical series of deforestation maps for the Atlantic Forest, Caatinga, Pampa, and Pantanal biomes, and the annual monitoring of deforestation in these Biomes from 2017 to 2021.

The mapping of deforestation in the Atlantic Forest biome follows the methodology developed and used in the PRODES-Amazon [10] and PRODES-Cerrado [11] projects: visual analysis at scale 1:75,000; manual vectorization of deforestation polygons, larger than 1ha in the case of the Atlantic Forest; in medium spatial resolution images, mainly from Landsat satellites.

For the MA, the Base Map for 2016 was initially produced, from color composition - RGB564 (OLI/Landsat8), with contrast enhancement by histogram manipulation, and segmentation by Region Growth (Similarity: 50 and Area (pixels): 20). An interpreter analyzed and edited all segments for further classification. The mapping of the biennial historical followed the legend defined for the Base Map, updating the polygons by visual interpretation, considering the classes: deforestation (agricultural areas, pasture or fallow, mining, burn scar, urban area, reforestation), hydrography (reservoir, water) and unobserved (cloud, cloud shadow, relief shadow). The classes: non-vegetated natural areas, floodable areas, natural forest or pioneer formations, araucaria forests, and natural grassland formations are not mapped. The mappings and their statistics will be released on the TerraBrasilis platform (<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>), together with data from the other Brazilian Biomes.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The diversity of phytophysionomies and the latitudinal gradient of the MA ensure high biodiversity and at the same time impose challenges for its mapping and monitoring by remote sensing. The spectral patterns of the different phytophysionomies make it difficult to define unique and uniform deforestation detection/classification methods. The selection of cloud-free images depends on climatic conditions, which in turn vary with a latitudinal gradient and local geographic and geomorphological conditions.

Although they are all based on Landsat images, the conception, definition of legends and the objective of the systems differ (Table 1). For the Atlas, the identification and accounting of deforestation in a consistent historical series has been a fundamental instrument for actions with municipal and state governments to control deforestation and encourage restoration projects of the MA [12].

MapBiomias proposes to map land use and land cover, and deforestation is, at first, a byproduct of the analyses of trajectories of its classes. With the expansion of mapping to the entire MA domain in Latin America, the scope for monitoring is broadened, attracting international attention to the Atlantic Forest deforestation.

Characteristics	SOS MA	MapBiomias	PRODES_MA
Mapped Area	MA Law Limit	MA Law Limit and Biome	MA Biome
Mapping object	Preserved forest remnants	Land Use and Cover, any forest cover	Native vegetation (forest, shrub, grassland, etc.)
Minimum area	> 3 ha	> 0.5 ha	> 1 ha
Image	Landsat / Sentinel	Landsat	Landsat
Resolution	30 - 10 m	30 m	30 m
Scale	1:50.000 on screen	n.a.	1:75.000 on screen
Historical Series	1989 - 2021	1985-2020	2016 - Base 2004-2018 - biannual > 2019 - annual
Methodology	on-screen visual interpretation	Random Forest Classification	on-screen visual interpretation
Data Access	https://www.sosma.org.br/iniciativas/atlas-da-mata-atlantica/	https://plataforma.brasilmapbiomias.org	http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/
Legend	Forest Decrement, Land Cover classes	Classes of Land Use and Land Cover	Deforestation

Table 1. General characteristics of the Atlantic Forest monitoring systems

Regarding PRODES-MA, the deforestation mapping generated corresponds to the official monitoring results, together with the deforestation rates of the other Brazilian Biomes, as established in PMABB and the national REDD+ strategy [13].

3.1. How much Atlantic Forest is left

Answering how much of the original Atlantic Forest remains requires an answer that is neither simple nor unique. Rezende et al (2018), with RapidEye (5m) images from 2013, mapped 32 million ha of native vegetation in the MA domain in Brazil, which would correspond to 28% of the Biome [14].

According to the MA Atlas, in 2013 there were 18.3 million ha of native forests (more than 3ha and better-preserved forest) or 14% of the MA Law application area. By 2020, this area reduced to 16.2 million ha or 12.4% of the MA Law area [5].

For MapBiomias, in 2020, 31% of the MA Biome was covered by native vegetation (including savanna, grasslands, and floodplains), with 29% covered by forest formations (Forested Forest, Savanna, Mangrove and *Restinga*); and 25.8% of the Law Enforcement area covered by forest.

In other words, estimates may vary considering the geographic boundary of the MA (Biome or MA Law Enforcement Area), the definition of forest/legend, the resolution of the images, and the classification procedures adopted.

3.2. Deforestation of the Atlantic Forest

According to the historical series of the Atlas (Figure 1), the intense reduction in the early 2000s was followed by a period of a slight decrease in deforestation figures[5]. However, in 2021 the deforestation intensified again, with 21,642 ha, or an increase of 66% compared to 2019-2020, and 90% higher than the lowest value (11,399 ha) of the historical series, in 2017-2018. Also according to the Atlas, five states hold 89% of deforestation: Minas Gerais (9,209 ha), Bahia (4,968 ha), Paraná (3,299 ha), Mato Grosso do Sul (1,008 ha), and Santa Catarina (750 ha). São Paulo, Rio de Janeiro, Sergipe, and Pernambuco, which had deforestation close to zero, had an increase. Alagoas, Ceará, Paraíba, and Rio Grande do Norte had deforestation of less than 50 ha, but the cloud cover does not guarantee that they are with zero deforestation.

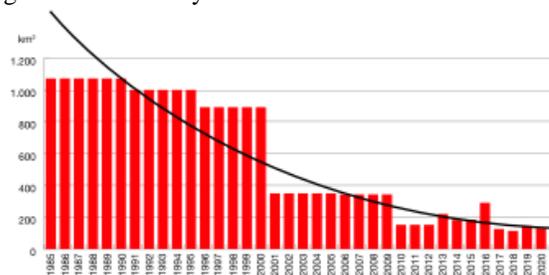


Figure 1. Deforestation rate and historical trend - Atlantic Forest Remnants Atlas (2022)

MapBiomias reported a total loss of 31.2% of primary vegetation from 1987 to 2019 or 10 million ha. For 2020, it indicated a loss of more than 30,000 ha of mature forest. The project does not disclose explicit deforestation data, but since it monitors land use and cover, it discusses the forest conversion by each period. The data from PRODES-MA have not yet been released, but will be available for consultation and access on the TerraBrasilis platform by the end of 2022.

3.3. New technologies in monitoring systems

With new sensors and free and better-resolution images, monitoring systems are being improved. The Atlas 2020-2021 was made with Copernicus MSI/Sentinel 2 (10m) images, providing greater detail of deforestation limits. Tests indicated a maximum increase of 7% in the estimate of deforested areas [5].

PRODES-MA team is researching improvements to detect deforestation over Sentinel-2 mosaics from Brazil Data Cube [15], using algorithms such as the Satellite Image Time Series - SITS [16] and supervised convolutional neural networks [17] for semi-automatic detection of deforestation. There are also other monitoring initiatives such as the Deforestation Alert System of the Atlantic Forest (SAD). Developed by SOS Mata Atlântica, Arcplan, and MapBiomias, SAD monitors monthly evidence of deforestation considering areas larger than 0.3 ha, with automatic classification of Sentinel-2 images (<https://www.sosma.org.br/iniciativas/alertas/>).

4. CONCLUDING REMARKS

This article describes methodologies and definitions for understanding the utility and relevance of the main systematic monitoring systems of the Atlantic Forest. The Atlas of Forest Remnants of SOS-Mata Atlântica/INPE, which monitors only forest remnants of more than 3ha, has been the main instrument for demanding municipal, state, and federal public policies to control deforestation. MapBiomias, due to its comprehensiveness and territorial reach has provided land use and cover data that shows the forest conversions in MA. The PRODES-MA system will provide complementary information for monitoring the Brazilian Biomes supporting policies for environmental compensation. This highlights the complementary nature of the different systems.

The availability of images with better spatial and temporal resolutions, and algorithms for automatic detection are driving the improvement of the systems. Recognizing the complementarity of the systems is central, not only for research development but especially for communicating the results for conservation strategies.

4. ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Projects CNPq 444418/2018-0 and PIBIC/PIBITI – INPE 129904/2022-8.

5. REFERENCES

- [1] R.A. Mittermeier et al. *Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots*. In: Zachos, F.E.; Habel, J.C.(Eds.). *Biodiversity Hotspots*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp.3–22, 2011.
- [2] IBGE. *Contas de Ecossistemas: Uso da Terra nos Biomas Brasileiros (2000-2018)*, IBGE, Rio de Janeiro, 2020. 95p, 2020
- [3] IBGE. *Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000* - RJ: IBGE. 168 p. (ISSN 0101-2843; v. 45), 2019.
- [4] IBGE. *Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428 de 2006*. 1:5.000000, 2012.
- [5] SOS Mata Atlântica, INPE. *Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2020-2021*. SOS Mata Atlântica and INPE, SP, 2022.
- [6] Projeto MapBiomias – *Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra na Mata Atlântica - Coleção 6°*, Accessed on 22/10/07, [<https://mapbiomias-br-site.s3.amazonaws.com/Fact-Sheet-Mata-Atlantica.pdf>], 2021.
- [7] L. Breiman. Random forests. *Machine learning*, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.
- [8] Projeto MapBiomias. *Atlantic Forest Trinational, Collection 1. Version 1*. Accessed on 2022/10/10, [https://mapbiomias-tri-mataatlantica-site.s3.amazonaws.com/download/Cole%C3%A7%C3%A3o_1/ATDB_Atlantic-Forest-Trinational.pdf], 2022.
- [9] INPE - FUNCATE, Almeida et al. *Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros por Satélites: Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal - Relatório de Referência Metodológica dos Subprojetos 1 a 4 (v1)*. Accessed on 2022/10/10, [<http://biomas.funcate.org.br/>], 2022.
- [10] INPE. *Metodologia Utilizada nos Projetos PRODES e DETER*. Accessed on 2022/10/10, [http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/Metodologia_Prodes_Deter_revisada.pdf], 2019.
- [11] INPE. *Metodologia da detecção do desmatamento no Bioma Cerrado*. Accessed on 2022/10/10, [http://cerrado.obt.inpe.br/wp-content/uploads/2019/08/report_funcate_metodologia_mapeamento_bioma_cerrado.pdf], 2018.
- [12] L.P. Pinto. *30 anos de conservação do Hotspot de Biodiversidade da Mata Atlântica: desafios, avanços e um olhar para o futuro*. Pinto, L.P.; Hirota, M. (org), São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2022.
- [13] MMA. *ENREDD+ Depto de Políticas de Combate ao Desmatamento*. Brasília: MMA, 2016. 48 p. (ISBN: 978-85-7738-263-7), 2016.
- [14] C.L. Rezende, et al. *From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest*. *Perspective in Ecology and Conservation*, (16): 208-214. 2018
- [15] Ferreira et al. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. *Remote Sensing*, 12(24), 4033. 2020
- [16] G. Camara, et al. *e-sensing/sits: v.1.12.5*; Zenodo: Geneva, Switzerland, 2018.
- [17] P.J. Soto et al. Deforestation detection with weak supervised convolutional neural networks in Tropical Biomes.v.XLIII-B3-2022 XXIV ISPRS, 2022.