

Universidade de Brasília  
ICH - Instituto de Ciências Humanas

# Geografia da Paisagem

## Múltiplas Abordagens

Organizadores:  
Valdir Adilson Steinke  
Charlei Aparecido da Silva  
Edson Soares Fialho



Brasília - DF  
2022

© 2022.



Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

A responsabilidade pelos direitos autorais de textos e imagens dessa obra é dos autores.

[1ª edição]

### Elaboração e informações

Universidade de Brasília  
ICH - Instituto de Ciências Humanas  
Campus Universitário Darcy Ribeiro, ICC Norte, Mesanino Bloco 01qr Campus Universitário  
Darcy Ribeiro - Asa Norte, Brasília DF CEP: 70297-400 Brasília - DF, Brasil

Contato: (61) 3107-7364 Site: ich.unb.br

E-mail: ihd@unb.br

### Equipe técnica

Parecerista: Marcelino de Andrade Gonçalves

Editoração: Luiz H S Cella

Revisão: Amabile Zavattini

Capa: Maria Frizarin

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília

Bibliotecário XXXX - CRB X/XXXXX

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade de Brasília - BCE/UNB)

G345 Geografia da paisagem [recurso eletrônico] : múltiplas abordagens / organizadores: Valdir Adilson Steinke, Charlei Aparecido da Silva, Edson Soares Fialho . - Brasília : Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, 2022.  
553 p. : il.

Inclui bibliografia.  
Modo de acesso: World Wide Web:  
<<http://caliandra.ich.unb.br/>>.  
ISBN 978-85-93776-01-4.

1. Paisagens. 2. Geografia. 3. Ecologia das paisagens. I. Steinke, Valdir Adilson (org.). II. Silva, Charlei Aparecido da (org.). III. Fialho, Edson Soares (org.).

CDU 911.5

# ANÁLISE DA PAISAGEM POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO

Edson Eyji Sano  
Daniel Moraes de Freitas

## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo, vamos abordar alguns aspectos da paisagem brasileira do ponto de vista de imagens de satélite. Para tirar o máximo de proveito em termos de informações que as imagens de satélite são capazes de produzir sobre diferentes aspectos biológicos, físicos e ambientais da superfície terrestre, é preciso ter conhecimento o mais sólido possível dos princípios físicos envolvidos no processo de aquisição de dados de sensoriamento remoto. Tal conhecimento passa pelo entendimento da natureza ondulatória e corpuscular da radiação eletromagnética (REM), da interação da radiação com a atmosfera e com os diferentes tipos de alvos e feições presentes na superfície terrestre, dos diferentes modos de aquisição de sensores imageadores embarcados em aeronaves ou satélites e de vários outros aspectos. Por causa da limitação no número de páginas disponibilizadas para cada capítulo do livro, vamos dedicar somente algumas páginas a esses fundamentos de sensoriamento remoto. No entanto, para aqueles interessados em se aprofundar mais nessa temática, recomendamos a leitura de diversos livros-textos já disponíveis na literatura, em especial, do livro editado por J. R. Jensen e traduzido por José Carlos Neves Epiphanyo e colaboradores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) intitulado Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres (Editora Parêntese) (Jensen, 2009) e o livro editado por Paulo Roberto Meneses e colaboradores da Universidade de Brasília (UnB) intitulado Reflectância dos Materiais Terrestres: Análise e Interpretação (Editora Oficina de Textos) (Meneses; Almeida; Baptista, 2019).

Da mesma forma, é impossível esgotar todos os aspectos da paisagem que podem ser abordados com base na análise de imagens de sensoriamento

to remoto. Nesse sentido, preferimos dar ênfase às principais características fitofisionômicas e suas correspondentes dinâmicas de conversão para agropecuária dos dois biomas mais extensos do País: Amazônia e Cerrado. Este capítulo apresenta ainda os principais sistemas de monitoramento do uso e cobertura vegetal baseados em imagens de satélite atualmente existentes no País e conclui apontando desafios que ainda permanecem abertos mesmo com o notável avanço dos últimos anos em termos de sistemas de aquisição de dados remotos e opções de algoritmos de processamento de dados na nuvem.

## 2. FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

### 2.1. ASSINATURA ESPECTRAL DE ALVOS



O princípio físico que permite o uso de dados de sensoriamento remoto na análise de paisagens é o fato de que cada alvo ou feição no terreno possui sua própria assinatura espectral. Em outras palavras, cada alvo reflete a REM incidente em diferentes proporções e em diferentes comprimentos de onda. Por exemplo, uma cobertura vegetal densa reflete uma alta quantidade de energia incidente (em torno de 40%) na faixa espectral do infravermelho próximo (comprimento de onda que varia aproximadamente de 0,7  $\mu\text{m}$  a 2,5  $\mu\text{m}$ ) e uma baixa quantidade (menos de 10%) na faixa espectral do vermelho (aproximadamente entre 0,6  $\mu\text{m}$  e 0,7  $\mu\text{m}$ ). Um solo escuro rico em matéria orgânica absorve grande parte da REM incidente.

Um sensor imageador multiespectral opera em diferentes faixas espectrais da REM, conhecidas como visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas ou infravermelho médio. Isso significa que, em uma imagem multiespectral, um determinado alvo ou feição no terreno pode apresentar diferentes tonalidades de cinza. Por exemplo, uma cobertura vegetal verde aparece com tonalidade de cinza escura no comprimento de onda do vermelho e uma tonalidade de cinza clara no comprimento de onda do infravermelho próximo. Na **Figura 1**, é mostrada uma imagem de satélite obtida sobre uma área com plantio de café irrigado com sistema de irrigação por pivô-central no oeste da Bahia nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo. Percebe-se que a maioria dos plantios de café sob sistema de irrigação por pivô-central, identificados pela geometria circular na imagem, aparece com um padrão de cinza predominantemente

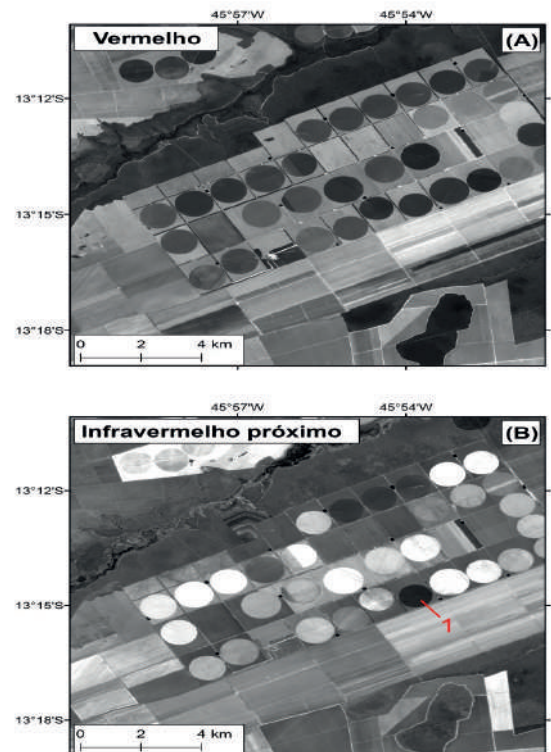
escuro na faixa espectral do vermelho por causa da forte absorção da REM relacionada com a atividade fotossintética das folhas verdes. Na faixa do infravermelho próximo, os plantios aparecem com tonalidade de cinza clara por causa da alta reflexão da REM devido à estrutura interna das folhas, fazendo com que as plantas não se superaqueçam. Uma das exceções em relação a esse padrão espectral é o pivô-central identificado pelo número 1 na Figura 1B. Esse pivô aparece com tonalidade de cinza escuro em ambas as faixas espectrais, indicando que essa área poderia estar com plantio recente de café e que o sistema de irrigação estava ligado quando da passagem do satélite. A umidade elevada de solos absorve a REM incidente de forma intensa. Somente com inspeção de campo é possível determinar com certeza qual o tipo de cultura agrícola está presente em cada pivô. Em outras palavras, os autores deste capítulo utilizaram o próprio conhecimento de campo para afirmar que o plantio mostrado na figura em questão se trata de plantio de café.

**Figura 1.** Variações na tonalidade de cinza de plantios de café irrigado sob sistema de irrigação por pivô-central no oeste da Bahia nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. As imagens mostradas nesta figura foram obtidas pelo satélite europeu Sentinel-2A em 13 de julho de 2020. O pivô-central no. 1 destoa dos demais por apresentar tonalidade de cinza escura no infravermelho próximo, provavelmente porque a cultura estava em fase inicial de crescimento e o pivô estava ligado durante a passagem do satélite.

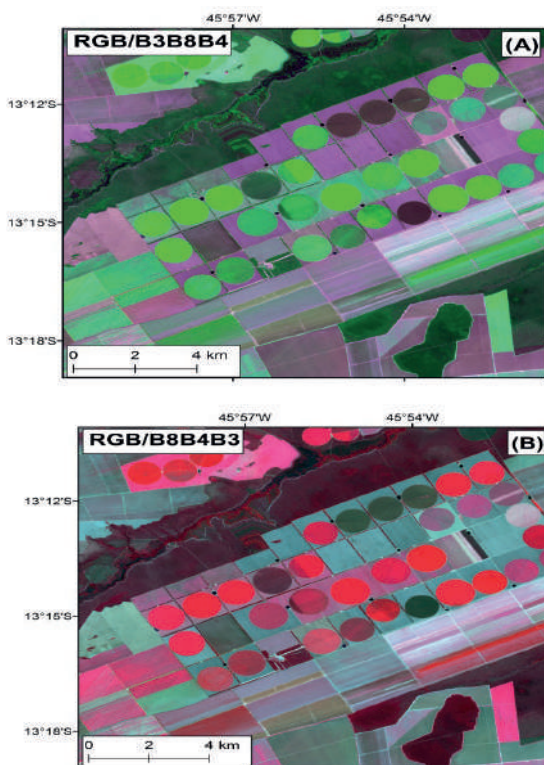
Organizador: Os autores.

A grande maioria dos usuários prefere analisar imagens multiespectrais de satélite coloridas ao invés de imagens monocromáticas em preto e branco. A geração de composições coloridas é um artifício computacional que é feito por diferentes aplicativos de processamento digital de imagens. Três imagens obtidas em diferentes faixas espectrais, denominadas de bandas espectrais, são selecionadas e, em seguida, atribuídas às três cores primárias, azul (B), verde (G) e vermelha (R). Aqui, é importante fazer distinção entre essas cores primárias com as três faixas espectrais do visível, igualmente denominadas de azul, verde e vermelha.

A **Figura 2** mostra dois exemplos de composições coloridas RGB da mesma área com plantio de café irrigado no oeste da Bahia. Na Figura 2A,



as cores primárias R, G e B foram associadas às bandas espectrais obtidas nas faixas do vermelho (comprimento de onda central de 0,665  $\mu\text{m}$ ), infravermelho próximo (0,842  $\mu\text{m}$ ) e verde (0,560  $\mu\text{m}$ ). Nessa composição colorida, a vegetação sadia aparece com coloração esverdeada. Na Figura 2B, as cores primárias R, G e B foram associadas às bandas espectrais obtidas nas faixas do infravermelho próximo, vermelho e verde. Nesse caso, as áreas com vegetação sadia aparecem com tonalidade avermelhada. Cada usuário pode escolher a composição colorida de sua preferência. Alguns preferem a vegetação sadia na cor verde por causa da compatibilidade dessa cor com a natureza (vegetação sadia na natureza possui coloração esverdeada). Outros preferem vegetação sadia na cor vermelha, pois o olho humano consegue discriminar melhor nuances de vermelho do que de verde. Outra possibilidade é o uso da cor azul para a vegetação sadia, no entanto, raramente essa composição colorida é utilizada, uma vez que é incomum encontrar alvos azuis na natureza.



**Figura 2.** Composição colorida RGB das bandas 3 (faixa espectral do verde), 4 (faixa espectral do vermelho) e 8 (infravermelho próximo) do satélite Sentinel-2A sobre uma área com plantios de café sob sistema de irrigação por pivô-central no oeste da Bahia. Em (A), as bandas 3, 4 e 8 foram associadas às cores primárias R, G e B, respectivamente. Em (B), as bandas 3, 4 e 8 foram associadas às cores primárias B, G e R, respectivamente. Organizador: Os autores.

## 2.2. RESOLUÇÃO ESPACIAL

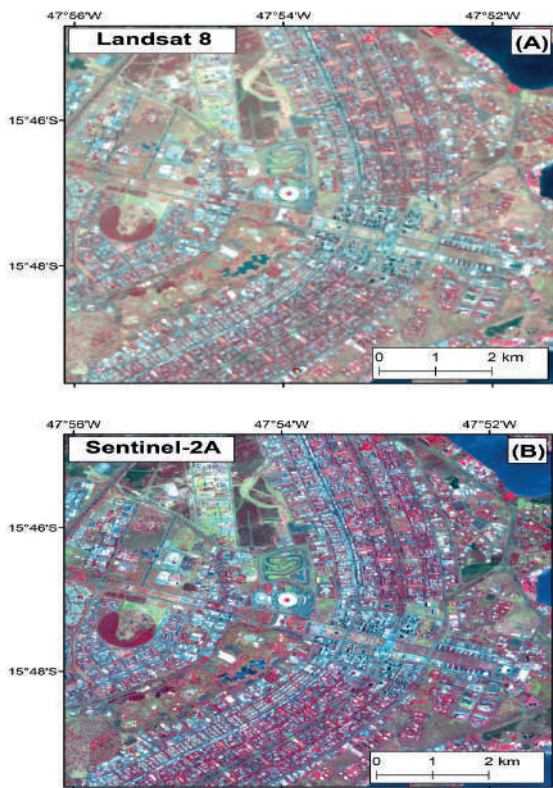


A resolução espacial dos diferentes sensores imageadores define o nível de detalhamento dos produtos a serem obtidos com base em dados de sensoriamento remoto. Atualmente, existem satélites que obtêm imagens com menos de 1 metro de resolução espacial até os que operam com resolução espacial da ordem de 1 km. A princípio, quanto mais fina a resolução espacial, maior é a capacidade de discriminar diferentes tipos de alvos presentes na paisagem. No entanto, quando a área de estudo é relativamente extensa, o volume de dados a serem analisados pode inviabilizar a sua utilização. Por exemplo, para cobrir todo o território nacional com imagens ortorretificadas do satélite RapidEye, com tamanho de pixel igual a 5 metros e área coberta pelas

imagens de 50 km x 50 km, são necessárias mais de 14.000 cenas. Quando o satélite Landsat é considerado (resolução espacial de 30 metros e tamanho de imagens de 185 km x 185 km) esse número se reduz para algo em torno de 250 cenas.

Na **Figura 3**, são mostradas imagens obtidas por dois sensores ópticos com resoluções espaciais moderadas de 30 metros (satélite Landsat 8) e 10 metros (satélite Sentinel-2A) do centro da cidade de Brasília, Distrito Federal (DF). As bandas espectrais de ambas as cenas foram adquiridas nas faixas do verde, vermelho e infravermelho próximo. Nessas imagens, áreas com cobertura vegetal sadia aparecem com coloração avermelhada, enquanto áreas construídas (asfaltos e edifícios) aparecem com coloração azulada. Percebe-se que a cena do Sentinel-2A permite melhor identificar as feições espectrais presentes no terreno, tais como as áreas verdes, os edifícios e o sistema viário, em comparação com a cena obtida pelo satélite Landsat 8. Conforme sugerido por Meneses (2012), dependendo da resolução espacial do sensor, pode-se estabelecer empiricamente as correspondentes escalas de visualização (**Tabela 1**). Nesse sentido, as imagens do satélite Landsat 8, obtidas com resolução espacial de 30 m, permitem mapeamentos na escala de 1:100.000, enquanto as imagens do satélite Sentinel-2, obtidas com resolução espacial de 10 m, permitem mapeamentos na escala de 1:40.000.

Outra questão que frequentemente é levantada pelos intérpretes de dados de sensoriamento remoto é como definir a área mínima de mapeamento em função da resolução espacial das imagens. Para responder a esse questionamento, é preciso primeiro definir o número mínimo de pixels necessário para delimitar um objeto ou feição no terreno, com relativa segurança. Experiências anteriores mostram que esse número mínimo é da ordem de 6 pixels x 6 pixels, podendo ser maior ou menor, dependendo das características espectrais dos alvos presentes na imagem. Para uma cena com resolução espacial de 30 metros, considerando o número mínimo de 6 pixels x 6 pixels, tem-se que a área mínima de mapeamento é de 32.400 m<sup>2</sup> (30 m x 30 m x 36 pixels = 32.400 m<sup>2</sup>), ou seja, algo em torno de 3 hectares.



**Figura 3.** Composições coloridas RGB das bandas espectrais nas faixas do verde, vermelho e infravermelho próximo dos satélites Landsat 8 (A) e Sentinel-2A (B) da região central de Brasília, Distrito Federal. As imagens foram obtidas em 18 de agosto de 2020 e em 19 de setembro de 2020, respectivamente. Percebe-se um contraste significativamente melhor para a imagem do Sentinel-2A por causa da sua resolução espacial mais fina.

Organizador: Os autores.

**Tabela 1.** Escalas aproximadas de visualização máxima em função da resolução espacial dos sensores imageadores, determinadas empiricamente por meio de análise visual de imagens em composições coloridas realçadas.

Resolução espacial (m)	Escala
1	1: <10.000
5	1:20.000
10	1:40.000
30	1:100.000

Fonte: adaptada de Meneses (2012).

### 1.3 - RESOLUÇÃO TEMPORAL



A periodicidade de obtenção de imagens por um determinado sensor imageador define a sua resolução temporal. Os dois satélites multiespectrais mais antigos em operação, isto é, as plataformas Landsat dos Estados Unidos e *Satellite Pour l'Observation de la Terre* (SPOT) da França, possuem resoluções temporais de 16 dias e 28 dias, respectivamente. Essa periodici-



dade só é possível porque esses satélites operam em órbita heliossíncrona, ou seja, o satélite passa no mesmo ponto da superfície terrestre na mesma hora do dia. Esses dois satélites cruzam a linha do equador entre 10h e 10h30min, horário local. Antes desse horário, o ângulo de elevação solar é muito baixo, provocando excesso de sombreamento nos alvos presentes na paisagem. Depois desse horário, o ângulo de elevação solar é muito alto, provocando falta de sombreamento nos alvos. De fato, a diferença no nível de sombreamento entre distintas feições no terreno é um dos critérios para diferenciá-las nas imagens. Essa é uma das principais justificativas da maioria dos sensores passivos, ou seja, sensores que dependem de radiação solar, operarem nessa faixa de horário. O plano de órbita é aproximadamente norte-sul e ortogonal em relação ao sentido de rotação da Terra. Para um satélite que é colocado a uma altitude de 900 km, o tempo para completar uma volta inteira ao redor da Terra é de aproximadamente 90 minutos.

Com o lançamento das plataformas Terra, em dezembro de 1999, e Aqua, em maio de 2002, a NASA disponibilizou, pela primeira vez, diversos sensores como o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), capazes de obterem dados com periodicidade quase diária. Para dar conta do grande volume de dados que seriam gerados quase que diariamente, os sensores foram desenvolvidos para operarem com resolução espacial moderada. Por exemplo, o sensor MODIS opera com resolução de 250 m, 500 m e 1 km, dependendo da faixa espectral e do modo de imageamento.

Algumas agências espaciais têm investido no lançamento de constelações de satélites para reduzir a periodicidade de aquisição de imagens e, ao mesmo tempo, manter a resolução espacial no melhor nível possível. Esse é o caso, por exemplo, do satélite alemão RapidEye, lançado em agosto de 2008, e formado por uma constelação de cinco microssatélites multiespectrais colocados em uma mesma órbita. A revisita pode ser diária para visadas *off-nadir* ou de 5,5 dias para visadas a nadir. A resolução espacial é de 6,5 metros e as imagens são comercializadas com tamanho de pixel de 5 m, após passar pelo processo de ortorretificação. RapidEye foi lançado com o objetivo de atender as necessidades de monitoramento da produção agrícola em diferentes regiões do mundo na estação chuvosa (agricultura de sequeiro). Aqui, a premissa era de que o aumento no número de passagens dos satélites em áreas agrícolas aumentaria as chances de obtenção de imagens sem cobertura de nuvens durante o ciclo de crescimento das culturas agrícolas.

Os satélites da Agência Espacial Europeia (ESA) denominados de Sentinel-1 e Sentinel-2 são outros exemplos na linha de constelação de satélites. Sentinel-1 corresponde a um conjunto de dois satélites denominados de Sentinel-1A e Sentinel-2A, lançados em abril de 2014 e em abril de 2016, respectivamente. Trata-se de satélites de radar de abertura sintética (SAR), que operam na banda C (faixa espectral em micro-ondas, comprimento de onda em torno de 5 cm). Cada satélite possui resolução temporal de 12 dias ou de 6 dias quando as passagens dos dois satélites são combinadas. A ESA lançou outra constelação de dois satélites ópticos em 2015 e 2017, denominada de Sentinel-2A e Sentinel-2B. O lançamento de constelação de satélites colocadas em uma mesma órbita parece ser uma tendência em termos de plataformas de coleta de dados de satélites de recursos naturais.

### 3. PAISAGENS TÍPICAS DO BRASIL



#### 3.1. OS BIOMAS BRASILEIROS

Em 2004, atendendo a uma demanda da Secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) lançou o mapa dos biomas brasileiros continentais na escala 1:5.000.000, subdividindo o país em seis grandes biomas (IBGE, 2004) (**Figura 4**): Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. A partir desse lançamento, o conceito de bioma tornou-se bastante popular e aceito no Brasil tanto no meio acadêmico como pela sociedade em geral, principalmente pela sua simplicidade. Um bioma pode ser definido como uma região geográfica contínua, constituída por formações vegetacionais próprias e identificáveis em escala regional e com condições geoclimáticas similares. Segundo essa definição, manchas de vegetação típica de Cerrado que ocorrem em algumas regiões do bioma Amazônia, notadamente nos estados do Amapá e Roraima, são incorporadas no bioma Amazônia na forma de enclaves.

O bioma Amazônia ocupa aproximadamente 49% do território brasileiro, seguido por Cerrado (24%), Mata Atlântica (13%), Caatinga (10%), Pampa (2%) e Pantanal (2%). Em 2019, o IBGE lançou uma atualização do mapa, com ampliação de escala para 1:250.000 e com a delimitação do Sistema Costeiro-Marinho (IBGE, 2019). Outra grande diferença entre os dois mapas

de biomas brasileiros é a incorporação, no mapa na escala de 1:250.000, de uma extensa região localizada no norte do estado do Piauí pelo bioma Cerrado, anteriormente classificada como pertencente ao bioma Caatinga. Há controvérsias nessa incorporação, uma vez que as condições de precipitação dessa região são típicas do semiárido nordestino. A seguir, são apresentadas as principais características das paisagens naturais e antrópicas da Amazônia e do Cerrado, ilustradas com composições coloridas RGB de imagens obtidas pelo satélite Sentinel-2A da ESA. Por questões de limitações no número de páginas e para que a leitura não fique exageradamente cansativa, os autores preferiram não apresentar as paisagens predominantes dos outros quatro biomas. Isso não significa que esses biomas apresentem importância secundária em termos de biodiversidade ou produção de alimentos e energia para o País.

**Figura 4.** Mapa dos biomas brasileiros na escala de 1:5.000.000. Fonte: IBGE (2004).

## 3.2. BIOMA AMAZÔNIA

### 3.2.1. COBERTURA VEGETAL NATURAL

O bioma Amazônia é notadamente conhecido pelas formações florestais tropicais de terra firme e terras baixas (várzeas). As árvores podem alcançar dezenas de metros de altura e o dossel é bastante heterogêneo em termos de densidade de espécies arbóreas e arbustivas. Recentemente, uma equipe de cientistas brasileiros e britânicos publicou um artigo na revista *Frontiers in Ecology and the Environment* relatando a descoberta da árvore mais alta na Amazônia: um exemplar da espécie *Dinizia Escelsa*, popularmente conhecida como angelim vermelho, de 88 metros, circundada por sete outras árvores com alturas superiores a 80 m (Gorgens *et al.*, 2019). Essas árvores encontram-se dentro de uma unidade de conservação de uso sustentável no estado do Pará, a Floresta Estadual do Paru, que faz divisa com o estado do Amapá.



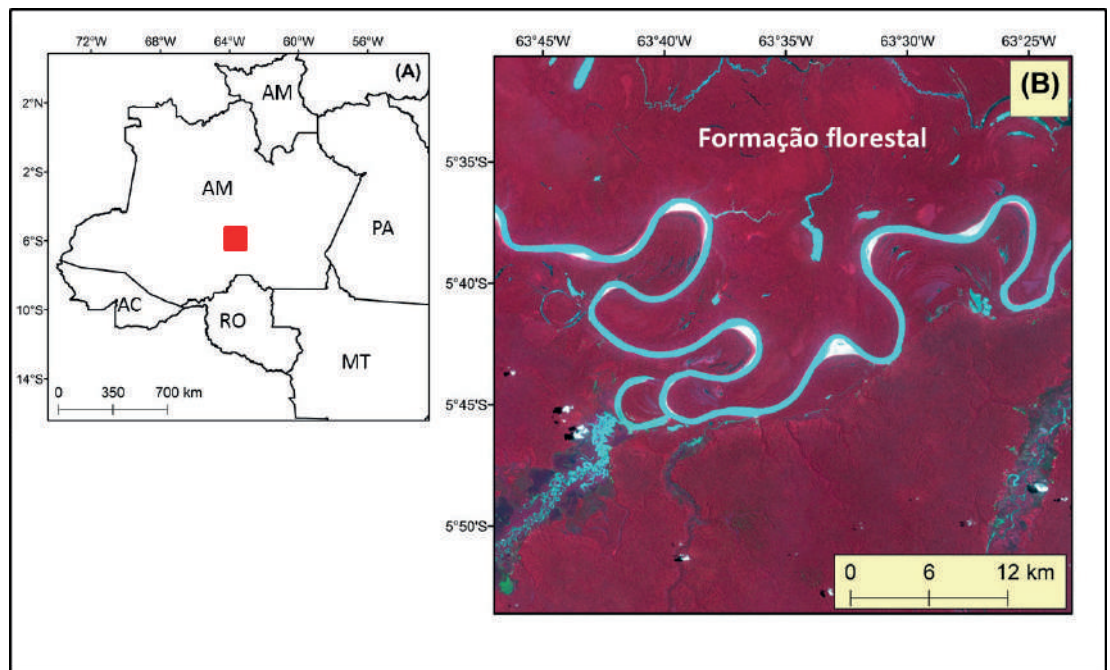
As irregularidades nas alturas das diferentes espécies arbóreas e a eventual queda de árvores provocam, no topo do dossel do bioma Amazônia, a presença marcante de sombreamentos. Suspeita-se que esses sombreamentos fazem com que os valores de índices de vegetação derivados de imagens de satélite fiquem maiores na estação seca do que na estação chuvosa, ao contrário do que ocorre em outros biomas como Cerrado e Caatinga. De acordo com Galvão *et al.* (2011), na estação seca, os ângulos de elevação solar são maiores durante o horário de passagem do satélite, o que reduz o sombreamento no topo do dossel e, conseqüentemente, aumenta os valores de índices de vegetação.

As várzeas são as representantes típicas de florestas ou campos de terras baixas, e ocorrem ao longo dos rios e planícies onde são periodicamente alagadas na estação chuvosa. Tipicamente, as várzeas ocorrem ao longo da calha principal do rio Solimões/Amazonas e seus principais tributários e ocupam uma área aproximada de 250 mil km<sup>2</sup> (aproximadamente 6% do bioma). A largura da várzea varia de algumas centenas de metros no Alto rio Solimões, em torno de 50 km no Médio e Baixo Amazonas e até 200 km na foz do rio Amazonas (IBAMA, 2008). A biodiversidade das várzeas é menor que as de florestas de terra firme, pois o número de espécies vegetacionais que possuem mecanismos morfofisiológicos tolerantes ao processo de inundação sazonal é menor. Essas áreas de várzeas, quando inundadas, podem ser confundidas com desmatamento por corte raso, pois ambas as feições apresentam tonalidades escuras nas imagens de satélite, tanto nas imagens de radar como nas imagens ópticas. Outras formações que se destacam no bioma Amazônia são as matas de igapó que ocorrem em áreas permanentemente alagadas e os enclaves de Cerrado que ocorrem notadamente nos estados do Amapá, Mato Grosso, Rondônia, Roraima e Pará. Esses enclaves são conhecidos como savana amazônica ou lavrados, cobrem uma área relativamente extensa na Amazônia Legal (233 mil km<sup>2</sup>, cerca de 3% do bioma) e apresentam várias espécies vegetais e animais endêmicas. Sua conversão em agricultura raramente tem sido mapeada ou monitorada.

A **Figura 5** ilustra um exemplo de uma área com cobertura florestal de terra firme no município de Tapauá, Amazonas. O rio que aparece no centro da imagem é o rio Purus, afluente da margem direita do rio Amazonas. Trata-se de uma área de floresta primária praticamente intacta (cor magenta na imagem) e com presença de algumas áreas de inundação, caracterizadas pela tonalidade cinza-escuro na composição colorida.

**Figura 5.** Composição colorida RGB das bandas 8, 4 e 3 do satélite europeu Sentinel-2A, obtida em 20 de setembro de 2020, ilustrando áreas de formações florestais de terra firme (coloração magenta) e de várzea (tonalidade escura) no município de Tapauá, estado do Amazonas. Em (A), a localização do recorte da imagem no estado do Amazonas. Organizador: Os autores.

3.2.2. Cobertura vegetal antrópica



As coberturas vegetais antrópicas mais representativas do bioma Amazônia são as pastagens cultivadas, as culturas agrícolas e a vegetação secundária. Essas coberturas antrópicas são resultantes do processo de desmatamento por corte raso, o qual sofreu intensificação a partir dos anos 1990. Esse processo de desmatamento começa no início da estação chuvosa e atinge o seu pico no final da estação chuvosa, no mês de abril. As árvores e arbustos derrubados são deixados no solo para serem queimados no pico da estação seca (agosto e setembro). Frequentemente as árvores de porte maior, com maior valor de mercado entre as madeiras, são retiradas antes do início do corte raso. Essa retirada é conhecida como corte seletivo. Os principais responsáveis pelo desmatamento na Amazônia são os grileiros que praticam desmatamento para fins de especulação de terras, os assentamentos rurais do Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), os pecuaristas para produção de carne bovina e os agricultores para produção de grãos.

Áreas extensas de pastagens cultivadas são encontradas, por exemplo, ao redor de Porto Velho, Rondônia, e em todo o estado do Pará, enquanto áreas extensas de plantio de grãos, notadamente soja, algodão e milho safrinha, são encontrados, por exemplo, na região de Sinop, Mato Grosso. Nas margens da rodovia BR-163, que liga Cuiabá a Santarém, principalmente na região do município de Novo Progresso, Pará, são encontradas grandes frentes de desmatamento por corte raso, ilegais em sua maioria.

Entende-se por desmatamento ilegal, aquelas áreas derrubadas sem licença emitida por agência ambiental estadual ou federal, mesmo que esteja de acordo com o Código Florestal vigente (BRASIL, 2012). As margens da rodovia BR-230 (rodovia Transamazônica), principalmente ao longo do trecho Lábrea-Apuí no estado do Amazonas, é outro exemplo de *hotspot* de desmatamento por corte raso.

Muitas dessas áreas desmatadas são abandonadas, levando à formação de uma classe de vegetação denominada vegetação secundária, um tipo de cobertura vegetal em processo de regeneração. As áreas de vegetação secundária podem ser classificadas como vegetação natural ou como vegetação antrópica, dependendo do estágio de regeneração. Essa separação é bastante subjetiva ao ser obtida por meio de imagens de sensoria-mento remoto ou mesmo em nível de campo, constituindo-se em uma das classes mais complexas de ser mapeada e monitorada no bioma Amazônia. A **Figura 6** mostra um recorte de imagem do satélite Sentinel-2A no município rondoniense de Ariquemes, com predomínio de pastagens cultivadas e vegetação secundária. A coloração azul-claro indica pastagens bem ma-nejadas, isto é, sem a presença de rebrota da vegetação nativa, enquanto a coloração azul-escuro indica pastagens mal manejadas, ou seja, com presença acentuada de rebrota da vegetação nativa.

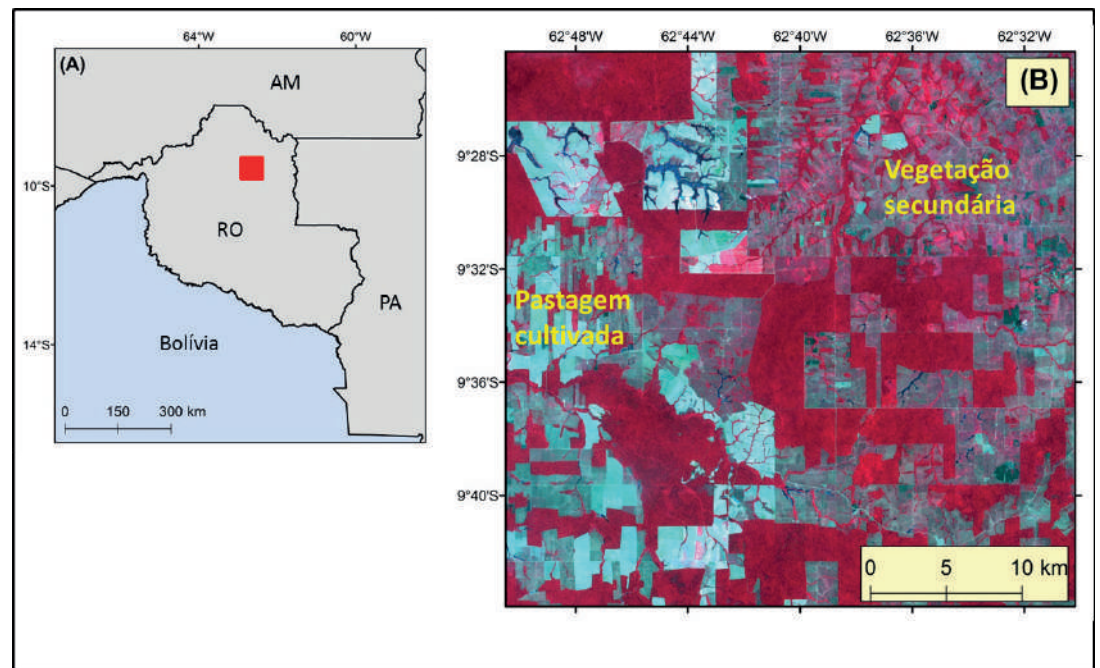
### 3.3. BIOMA CERRADO



#### 3.3.1. COBERTURA VEGETAL NATURAL

A vegetação natural do Cerrado é composta por um mosaico de forma-ções florestais, savânicas e campestres em diferentes proporções, dependen-do da região. Por vegetação natural, entende-se aquelas áreas que apresen-tam cobertura vegetal original, com ou sem a presença de atividade antrópica. Segundo essa definição, áreas denominadas de pastagens nativas são compu-tadas como cobertura vegetal natural, mesmo que a maior parte dessas áreas seja utilizada para criação de gado. A formação florestal corresponde a um dossel contínuo ou descontínuo, com predomínio de espécies arbóreas, en-quanto a formação savânica é constituída pela presença de árvores e arbustos espalhados sobre um estrato gramíneo, sem a formação de dossel contínuo. Finalmente, a formação campestre possui predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, mas sem a presença de árvores na paisagem.

**Figura 6.** Composição colorida RGB das bandas 8, 4 e 3 do satélite europeu Sentinel-2A, obtida em 07 de outubro de 2020, ilustrando presença de áreas antrópicas (pastagem cultivada e vegetação secundária) no município de Ariquemes, Rondônia. Em (A), a localização da imagem no estado de Rondônia. Organizador: Os autores.

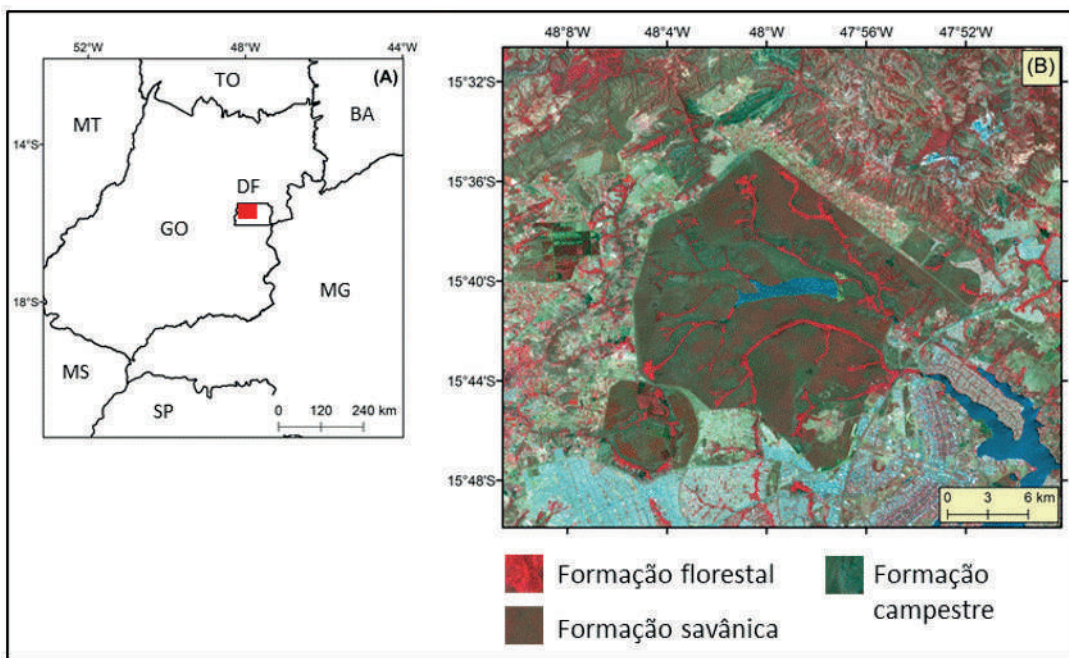


A vegetação do Cerrado é ainda caracterizada pela forte sazonalidade climática (seis meses de estação seca e seis meses de estação chuvosa). Nesse sentido, o mapeamento de fitofisionomias do Cerrado torna-se mais complexo e menos preciso sempre que se utiliza uma única cena para cada grade de imagem. Portanto, recomenda-se o uso de séries históricas de imagens para levar em consideração esse efeito de sazonalidade cuja intensidade é distinta dependendo da fitofisionomia. A possibilidade de processamento de imagens na nuvem em plataformas como as do Google™ ou da Amazon™ tem viabilizado o uso de séries temporais de imagens de satélite para mapeamento de uso e cobertura de terras em escala de bioma ou mesmo em escala nacional. O Projeto MapBiomas é um exemplo de uma iniciativa multi-institucional do Brasil para produção de mapas anuais de uso e cobertura de terras dos seis biomas brasileiros utilizando séries temporais de imagens do satélite Landsat (Souza Jr. *et al.*, 2020).

A **Figura 7** ilustra um exemplo de uma área coberta por vegetação nativa do Cerrado em um recorte de imagens do satélite europeu Sentinel-2A. A imagem cobre a maior unidade de conservação de proteção integral localizada em uma área urbana no Brasil, o Parque Nacional de Brasília. Nessa figura, que corresponde a uma composição colorida RGB das bandas 8 (infravermelho próximo), 4 (vermelho) e 3 (verde), as formações florestais aparecem com coloração avermelhada, enquanto as formações savânicas e campestres aparecem com tonalidades marrom-avermelhada e esverdeada

(predomínio de solo exposto e vegetação seca), respectivamente.

Grosso modo, atualmente o Cerrado apresenta metade do bioma coberto com vegetação nativa enquanto a outra metade já se encontra antropizada. Na porção norte do bioma, há um predomínio da vegetação nativa, enquanto na porção sul do bioma, predomina a cobertura vegetal antrópica, reflexo da própria história de ocupação do Cerrado, que começou da região sul para a região norte. A classe de cobertura vegetal antrópica mais expressiva em área no Cerrado são as pastagens cultivadas (aproximadamente 30%) (Scaramuzza *et al.*, 2017), encontradas praticamente em toda a extensão do bioma, em maior (exemplo, nordeste do estado de Goiás) ou menor proporção (por exemplo, oeste da Bahia), dependendo da região. As culturas anuais, notadamente soja, milho, algodão, café e cana-de-açúcar, ocupam cerca de 9% do bioma. Esses plantios ocupam extensas regiões com topografia plana, denominadas de chapadas e com solo predominantemente do grupo de Latossolos. São os casos de Luís Eduardo Magalhães na Bahia, Jataí e Rio Verde em Goiás e Lucas do Rio Verde e Sorriso em Mato Grosso, cujas regiões são conhecidas pela sua elevada produtividade e intensa mecanização agrícola.



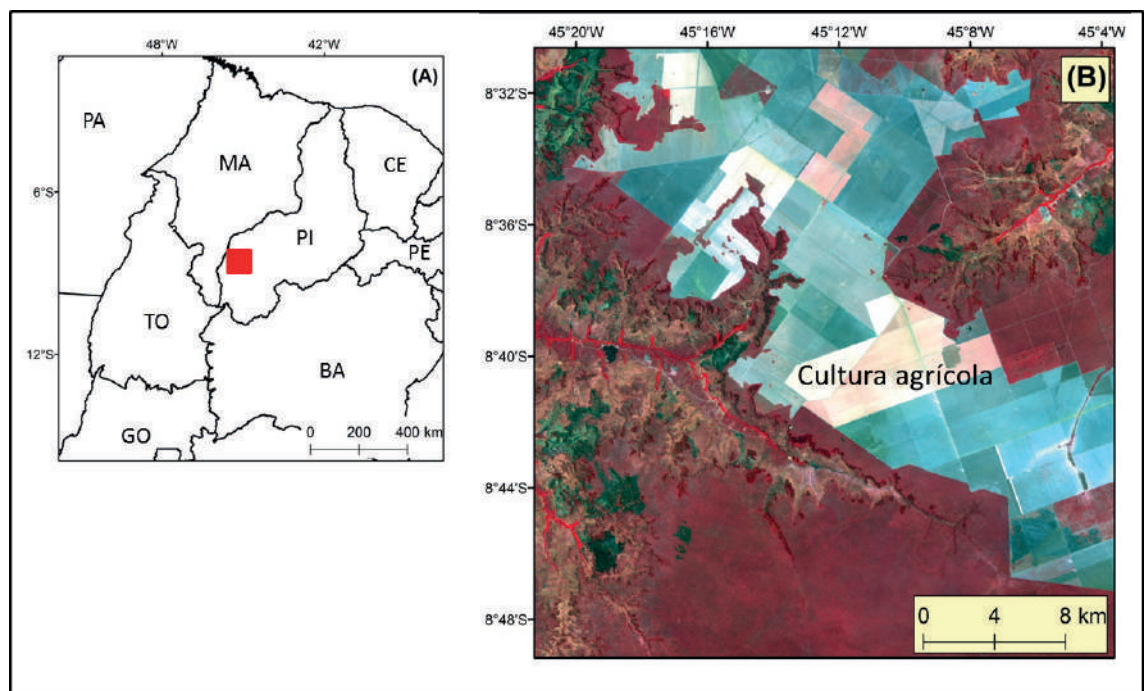
**Figura 7.** Composição colorida RGB das bandas 8, 4 e 3 do satélite europeu Sentinel-2A, obtida em 19 de setembro de 2020, ilustrando áreas de formações florestais, savânicas e campestres no Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal (DF). Em (A), a localização do recorte da imagem no DF. Organizador: Os autores.

A região conhecida como MATOPIBA, composta por 337 municípios dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, é a mais nova fronteira agrícola do Cerrado e a quarta maior região produtora de grãos do Brasil, atrás apenas de Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul. Essa região pro-



duz 13% do total de grãos produzidos no país (Silva *et al.*, 2020). A topografia plana, os custos baixos de aquisição de terras, as propriedades físicas favoráveis do solo para o plantio de grãos e a possibilidade de uma boa logística para exportação dessas *commodities* agrícolas, via porto do Itaqui no Maranhão, contribuíram para o estabelecimento da fronteira agrícola nessa região. A **Figura 8** ilustra o avanço da fronteira agrícola no MATOPIBA, mais especificamente no sul do estado do Piauí, no município de Baixa Grande do Ribeiro. A porção sul da imagem, caracterizada pela coloração avermelhada e textura lisa, corresponde a uma área plana com vegetação do tipo Cerrado Ralo (formação savânica). Essa área é fortíssima candidata a ser ocupada pela agricultura em um futuro bastante próximo.

**Figura 8.** Composição colorida RGB das bandas 8, 5 e 4 do satélite europeu Sentinel-2A, obtida em 21 de setembro de 2020, ilustrando o avanço da agricultura de sequeiro sobre áreas de chapada na região de MATOPIBA (município de Baixa Grande do Ribeiro). Em (A), a localização do recorte da imagem no estado do Piauí. Organizador: Os autores.



## 4. SISTEMAS BRASILEIROS DE MONITORAMENTO DA PAISAGEM

### 4.1. MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO

#### 4.1.1. PROJETO PRODES

Por causa da sua importância na conservação da biodiversidade de florestas tropicais e na mitigação de efeitos climáticos globais, o monitoramento do desmatamento na Amazônia brasileira tem merecido grande

atenção. O monitoramento efetivo da Amazônia começou com o lançamento do Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) em 1988 pelo INPE com o objetivo de produzir taxas anuais de desmatamento por corte raso para fins de políticas públicas (MAURANO; ESCADA; RENNO, 2019). O período de monitoramento inicia-se em 1º de agosto de um determinado ano até o dia 31 de julho do ano seguinte.

O PRODES tem sido baseado na análise de imagens do satélite Landsat, mas, sempre que necessário, tem sido complementado com a análise de imagens do satélite sino-brasileiro CBERS-2/2B/4 e do satélite indiano RESOURCESAT LISS-3. Por exemplo, em 2012, com a descontinuação de obtenção de imagens pelo satélite Landsat 7, por causa de falhas no corretor de linhas de varredura, dados do PRODES de 2012 foram gerados com forte dependência do satélite RESOURCESAT LISS-3. A área mínima de mapeamento do PRODES é de 6,25 hectares. Essa área corresponde a um quadrado de 250 m x 250 m, o que equivale à área mínima mapeável de 0,1 cm x 0,1 cm em produtos cartográficos na escala de 1:250.000. Em 1988, as imagens do PRODES eram interpretadas visualmente pelos pesquisadores do INPE a partir de composições coloridas impressas em papel fotográfico na escala de 1:250.000. As áreas desmatadas eram desenhadas manualmente em um papel transparente conhecido como *overlay*, e digitalizadas via mesas digitalizadoras em tamanho A0 (84,1 cm x 118,9 cm), acopladas a microcomputadores com programas de processamento digital de imagens ali instalados. De acordo com INPE (2021a), os dados gerados pelo PRODES têm sido utilizados para: i) certificação de cadeias produtivas do agronegócio como a Moratória da Soja e o Termo de Ajustamento de Conduta da pecuária bovina; ii) geração de relatórios de inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa; e iii) doações monetárias da Noruega e Alemanha ao governo brasileiro, via Fundo Amazônia.

Recentemente, o PRODES foi estendido para o bioma Cerrado, gerando-se dados anuais de desmatamento para esse bioma a partir de 2013 e dados bianuais para o período 2000–2012. A área mínima de mapeamento é de 1 ha. A legenda do PRODES Cerrado é composta pelas seguintes classes: antrópico (com correspondente ano de supressão vegetal natural), água e não-observado (regiões com cobertura de nuvens). O restante das áreas são consideradas formações naturais. Áreas em regeneração e áreas agrícolas abandonadas foram classificadas como formações naturais. Áreas queimadas com padrão geométrico regular foram consideradas pertencen-

tes à classe antrópica. Maiores detalhes do PRODES Cerrado podem ser encontrados em Parente *et al.* (2021).

#### 4.1.2. SISTEMA DETER

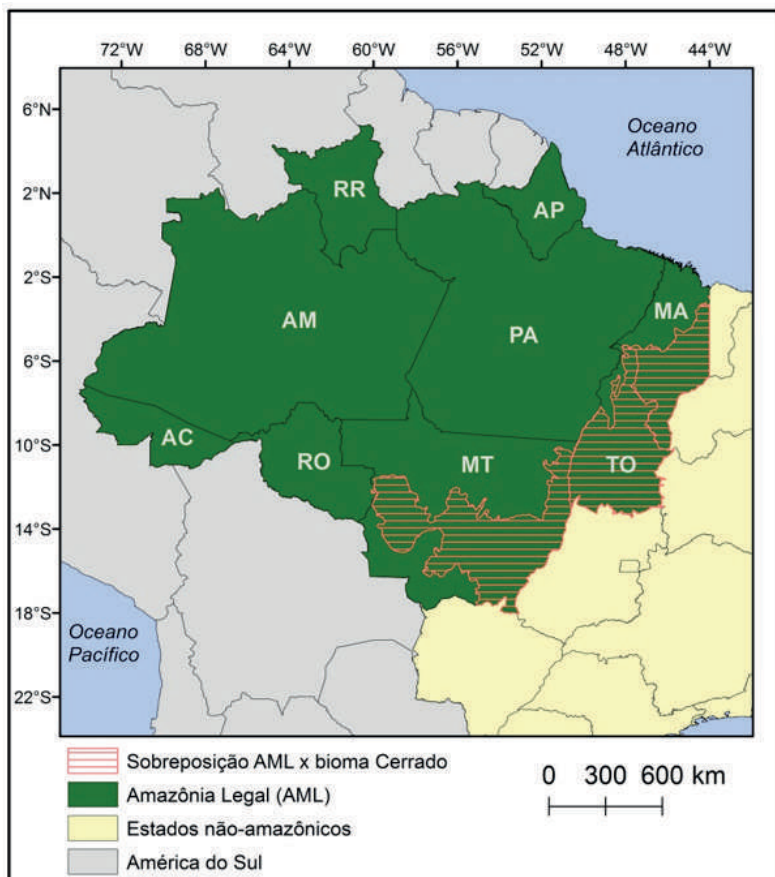


Outro sistema de monitoramento de desmatamento, criado pelo INPE em 2004, é o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER). O DETER corresponde a um sistema de alertas de desmatamento e degradação florestal e visa fornecer subsídios à equipe de fiscalização, combate e controle de desmatamento do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). No período 2004–2017, o DETER foi baseado nos dados diários do sensor MODIS a bordo do satélite Terra, que opera com resolução espacial de 250 m. A área mínima de detecção é de 25 hectares. A partir de 2015, o INPE começou a operar uma nova versão do DETER, denominada de DETER-B (Diniz *et al.*, 2015), com o intuito de monitorar desmatamentos menores que 25 ha. Para isso, o sensor MODIS foi substituído pelo sensor *Advanced Wide Field Sensor* (AWiFS) do satélite RESOURCESAT-2, que opera com resolução espacial de 56 m e periodicidade de 5 dias, complementadas com o sensor *Wide Field Imager* (WFI) do satélite CBERS-4, com resolução espacial de 64 m. Com isso, a área mínima de detecção passou para aproximadamente 3 ha.

No final de 2019, o IBAMA fez uma demanda ao INPE para implementar um novo sistema de monitoramento de alertas de desmatamento baseado em um conjunto de satélites que operam com resolução espacial moderada de 10 m a 30 m, periodicidade de 10 a 30 dias e com disponibilização de imagens de forma gratuita na rede mundial de computadores. Nesse sentido, são utilizadas todas as imagens sem cobertura de nuvens obtidas pelos satélites Landsat 8, Sentinel-1 (radar), Sentinel-2 (óptico) e CBERS-4. O sistema foi denominado de Deter Intenso (INPE, 2021b). Com a combinação desses satélites, é possível reduzir a taxa de revisita de uma determinada área para 1-2 dias com uma área mínima mapeável em torno de 1 ha. Atualmente, o DETER Intenso está operando em cinco áreas prioritárias de fiscalização nas regiões de Anapu (PA), Apuí (AM), Candeias do Jamari (RO), Extrema (RO) e Altamira (PA), totalizando uma área de 484 mil km<sup>2</sup>. O objetivo principal do Deter Intenso é qualificar os alertas de desmatamento para fiscalização em campo, segundo critérios pré-estabelecidos em um algoritmo de inteligência artificial. Um polígono de 10 ha pode ser mais

prioritário para fiscalização do que outro de 500 ha, desde que o primeiro esteja ativo e o outro já esteja consolidado. Por polígono ativo, entende-se aquela área de desmatamento que vem crescendo em ritmo acelerado em um curto período de tempo.

Aqui, é importante ressaltar que tanto o PRODES como o DETER utilizam, como área de estudo, a Amazônia Legal que é mais extensa do que o bioma Amazônia. A Amazônia Legal corresponde a um limite político criado pela Lei Federal no. 5.173 de 1966 (BRASIL, 1966) para facilitar políticas públicas de incentivos fiscais na região amazônica e cobre uma área aproximada de 5,2 milhões de km<sup>2</sup> (61% do território nacional), englobando os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão (**Figura 8**). É preciso ficar atento a essas diferenças em área porque os valores mapeados, em qualquer que seja o tipo de mapeamento, podem variar para mais ou para menos, dependendo do limite geográfico utilizado.



**Figura 8.** Mapa de localização da Amazônia Legal no Brasil, mostrando sobreposição com o bioma Cerrado em vermelho nos estados de Mato Grosso, Tocantins e Maranhão.

Organizador: Os autores.

### 4.1.3. PROJETO TERRACLASS

Outro projeto de monitoramento de desmatamento que pode ser destacado é o Projeto TerraClass Amazônia (Almeida et al., 2016), que está sendo executado pela Coordenação Espacial da Amazônia (COEAM) do INPE, com sede em Belém, PA, em parceria com a Embrapa Amazônia Oriental em Belém, PA, e a Embrapa Informática Agropecuária em Campinas, SP.

O objetivo principal desse estudo é qualificar as áreas desmatadas e detectadas pelo PRODES dois anos antes do ano que está sendo considerado pelo projeto. Mais especificamente, o TerraClass procura identificar

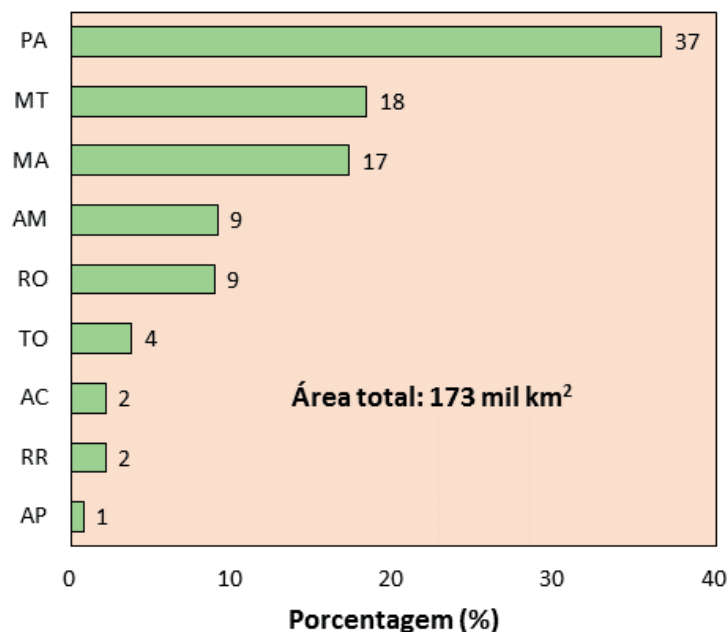
quais os tipos de cobertura vegetal estão presentes naquelas áreas que sofreram corte raso há dois anos.

Esse projeto é baseado na análise visual de imagens do satélite Landsat, as quais são previamente processadas pelas técnicas de segmentação de imagens e modelo linear de mistura espectral. A seguinte legenda é utilizada: agricultura anual; área não observada (presença de cobertura de nuvem); área urbana; mineração; mosaico de ocupações (típico de assentamentos rurais); pasto com solo exposto; pasto limpo; pasto sujo; regeneração com pasto; reflorestamento; e vegetação secundária. A classe agricultura anual é a única classe que é mapeada de forma automática, baseada nos dados do sensor MODIS convertidos para índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). O TerraClass é executado a cada dois anos e atualmente os dados estão disponíveis para 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014. Resultados divulgados pelo Projeto TerraClass de 2014 indicam que o estado de Pará possui 37% das áreas de vegetação secundária na Amazônia Legal, seguida dos estados de Mato Grosso e Maranhão, com 18% e 17%, respectivamente (**Figura 9**). Tais áreas de vegetação secundária podem ser consideradas como áreas potenciais de intensificação agrícola ou como de preservação para recuperação da biodiversidade.

**Figura 9.** Porcentagem de área ocupada pela classe de vegetação secundária pelos diferentes estados da Amazônia Legal, mapeada pelo Projeto TerraClass em 2014. Organizador: Os autores.

#### 4.2. MAPEAMENTO DE COBERTURA E USO DO SOLO DO BRASIL (MAPBIOMAS)

Nesta seção, o destaque é para o projeto multi-institucional de mapeamento anual de cobertura e uso do solo do Brasil, conhecido como Projeto MapBiomias (Souza Jr. *et al.*, 2020; MapBiomias, 2022a), o qual envolve a participação de diversas instituições públicas de ensino (Universidade Federal de Goiás - UFG, Universidade Federal de Rio Grande do Sul - UFRGS, Universidade Estadual de



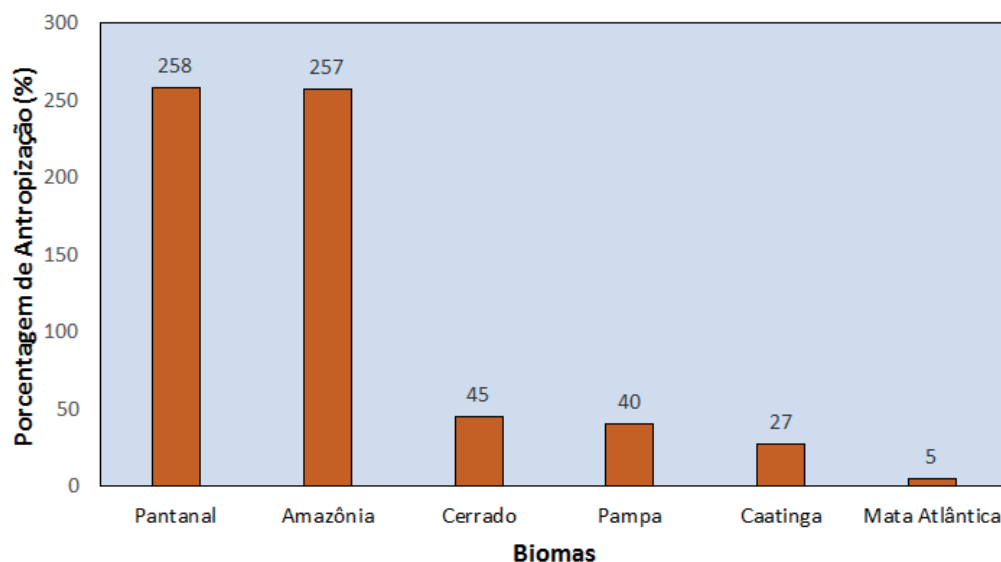
Feira de Santana – UEFS e Universidade Federal do Pará - UFPA), organismos não-governamentais (IMAZON) e empresas privadas (por exemplo, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM, Agrosatélite e ArcPlan). Cada instituição é responsável pelo mapeamento de cobertura e uso do solo em nível de bioma ou de temas específicos como mangues, pastagens cultivadas e culturas agrícolas. Por exemplo, o IMAZON é responsável pelo bioma Amazônia, o IPAM pelo Cerrado, a UEFS pela Caatinga, a UFG pelas pastagens cultivadas e o Agrosatélite pelas culturas agrícolas.

O projeto utiliza séries históricas de imagens do satélite Landsat da coleção 1, *tier 1*, isto é, valores digitais convertidos para reflectância no topo da atmosfera e disponibilizados na plataforma Google Earth Engine. As imagens são processadas na nuvem via *scripts* nas linguagens de programação Javascript e Python. Uma coleção de *scripts (toolkits)* é disponibilizada para *download* de mapas em diversos recortes (estaduais, municipais, por bioma e outras geometrias). Os mapas, obtidos por meio de classificação supervisionada pelo algoritmo Random Forest, envolvendo 104 parâmetros de entrada, são disponibilizados em formato matricial. A fase de pós-classificação envolve os procedimentos de preenchimento de pixels não-classificados, filtragem espacial e filtragem temporal. A legenda é hierárquica e bastante detalhada (total de 26 classes temáticas). O primeiro nível é composto pela formação florestal, formação natural não-florestal, agropecuária, e área não vegetada.

O primeiro mapa anual de cobertura e uso do solo do Brasil produzido pelo projeto é de 1985, ano em que as imagens do satélite Landsat-5 *Thematic Mapper* (TM) começaram a ser disponibilizadas. Sempre que a série de mapas passa por alguma melhoria significativa em termos de pré-processamento, processamento ou pós-processamento, é lançada uma nova coleção. Todos os mapas produzidos até então são reprocessados, conforme a metodologia da nova coleção. Atualmente o MapBiomas já está na quinta coleção. As principais publicações em revistas indexadas pela equipe do MapBiomas podem ser encontradas no site do projeto (MapBiomas, 2022b). Atualmente o projeto está se expandindo para outros países da América do Sul e para outras iniciativas como o MapBiomas Alerta (confirmação de alertas de desmatamento) (MapBiomas, 2022c) e MapBiomas Fogo (disponibilização de dados de cicatrizes de queimada) (MapBiomas, 2022d). Na **Figura 10**, são mostradas as porcentagens de antropização dos seis biomas brasileiros em relação ao ano-base de 1985. Em 2019, Pantanal e Amazônia apresentaram acréscimos de 258% e 257% nos níveis de

antropização em relação aos encontrados em 1985. No bioma Cerrado, cuja expansão agrícola foi intensificada a partir de meados de 1980, a porcentagem de acréscimo foi de 45%. Essa porcentagem é superior aos 40% do Pantanal que corresponde a um bioma cuja antropização tem merecido pouco destaque entre os pesquisadores ou mesmo na mídia, apesar da sua grande riqueza em termos de diversidade de fauna.

**Figura 10.** Porcentagem de antropização em 2019 nos diferentes biomas brasileiros em relação ao ano-base de 1985. Organizador: Os autores.



### 4.3. MONITORAMENTO DE QUEIMADAS (BDQUEIMADAS)



Nas últimas décadas, as queimadas no Brasil têm sido cada vez mais frequentes em função da intensificação do processo de ocupação territorial, ocasionando perda de biodiversidade e aumento na emissão de gases de efeito estufa. O monitoramento de queimadas é importante para compreender a relação entre susceptibilidade a incêndios de uma determinada área, a qual está diretamente relacionada com o volume de material combustível e as condições climáticas da região, isto é, a duração e intensidade da estação seca, além do nível de ocupação humana da região. O conhecimento da extensão e recorrência de queimadas possibilita a elaboração de estratégias de prevenção e combate, minimizando os efeitos negativos causados pelo fogo. O INPE é a instituição que disponibiliza dados diários de queimadas no Brasil, por meio da plataforma BDQueimadas (Banco de Dados de Queimadas) (INPE, 2021c). O banco permite consultas na forma de mapas, tabelas e gráficos em diferentes recortes (estados, municípios,

unidades de conservação, biomas e outras feições) e exportação dos dados em vários formatos de saída, tais como o CSV, GeoJSON, KML e shapefile.

Para produção desses dados de queimadas, são utilizados diferentes satélites com órbita polar ou geoestacionários e que possuem sensores operando na faixa termal de 4  $\mu\text{m}$ . Os satélites pertencem às agências espaciais dos Estados Unidos (NASA) e da Europa (ESA), além do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dos Estados Unidos. Dentre os sensores utilizados, incluem-se o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), o *Meteorological Operational Satellite* (METOP-B e METOP-C), o MODIS, o *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) e o *Meteosat Second Generation* (MSG-3). Esses sensores produzem imagens com baixa resolução espacial (0,3–1 km de resolução espacial). O INPE também produz dados de queimada com resolução espacial média (10–60 m). Nesse caso, são utilizadas imagens geradas pelos satélites Landsat 8, CBERS-4 e RESOURCESAT LISS-3. Os produtos são diários para dados com resolução espacial baixa e aproximadamente quinzenal para produtos de resolução espacial média. A incerteza é de  $\pm 30\%$  para os mapeamentos de baixa resolução, e de  $\pm 10\%$  nos mapeamentos de média resolução espacial.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS



Nos últimos tempos, o aumento na capacidade de geração de dados de sensoriamento remoto em diferentes resoluções espaciais, temporais e espectrais tem sido bastante notório. A disponibilidade de recursos computacionais como a possibilidade de processamento na nuvem e o acesso às séries históricas de imagens de satélite sem a necessidade de *download* nos discos de cada computador pessoal é hoje uma realidade. No entanto, alguns desafios de monitoramento da paisagem com dados de sensoriamento remoto ainda permanecem. Este é o caso, por exemplo, do mapeamento de áreas ocupadas com integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). Ainda não existe uma biblioteca espectral constituída por áreas representativas dessa estratégia de produção agropecuária, onde plantios de pastagens, culturas agrícolas e de reflorestamento, por exemplo, com eucalipto, são encontrados em uma mesma área. O iLPF integra esses diferentes sistemas produtivos para produzir, de forma integrada, grãos, pastagem para gado e madeira, em uma mesma área. Essa estratégia vem sendo cada vez



mais adotada pelos produtores rurais por causa dos avanços no melhoramento genético, manejo das terras e das máquinas agrícolas.

Outro desafio é o mapeamento e monitoramento dos diferentes níveis de degradação de pastagens cultivadas. A degradação de pastagens pode ser definida como “um processo evolutivo de perda do vigor, de produtividade, da capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis de produção e a qualidade exigida pelos animais, bem como o de superar os efeitos nocivos e pragas, doenças e invasoras” (Macedo e Zimmer, 1993). Ocorre que esse conceito varia de acordo com a região. Por exemplo, uma pastagem cultivada com baixa produção de biomassa vegetal pode ser considerada degradada ou não degradada, dependendo das condições climáticas e de fertilidade natural de solos da região. Em outras palavras, o conceito de pastagem degradada do sudoeste de Goiás, onde as condições edafoclimáticas são melhores do que as do semiárido nordestino, por exemplo, não pode ser o mesmo. Na região amazônica, a degradação de pastagens está mais associada à regeneração de espécies arbóreo-arbustivas da região do que às condições edafoclimáticas. Além disso, uma área com superpasteio pode ser facilmente confundida com pastagem degradada em imagens de satélite e vice-versa.

## REFERÊNCIAS



ALMEIDA, C. A.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 46, n. 3, p. 291–302, 2016.

BRASIL. Lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966. Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia; extingue a Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), cria a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), e dá providências. **Diário Oficial da União**: seção 1 – 30/10/1966, Brasília, DF, p. 322.

BRASIL. Decreto-lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**: seção 1 – 28/5/2012, Brasília, DF, p. 1.

DINIZ, C. G.; SOUZA, A. A. A.; SANTOS, D. C.; DIAS, M. C.; LUZ, N. C.; MORAES, D. R. V.; MAIA, J. S.; GOMES, A. R.; NARVAES, I. S.; VALERIANO, D. M.; MAURANO, L. E. P.; ADAMI, M. DETER-B: The new Amazon near real-time deforestation detection system. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 8, n. 7, p. 3619–3628, 2015.

GALVÃO, L. S.; SANTOS, J. R.; ROBERTS, D. A.; BREUNIG, F. M.; TOOMEY, M.; MOURA, Y. M. On intra-annual EVI variability in the dry season of tropical forests: A case

study with MODIS and hyperspectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 2350–2359, 2011.

GORGENS, E. B.; MOTTA, A. Z.; ASSIS, M.; NUNES, M. H.; JACKSON, T.; COOMES, D.; ROSETTE, J.; ARAGÃO, L. E. O. C.; OMETTO, J. P. The giant trees of the Amazon basin. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 17, n. 7, p. 373–374, 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomás**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 26 abr. 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomás e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil**. Compatível com a Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2019, 164 p. (Série Relatórios Metodológicos, v. 45).

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Projeto Manejo de Recursos Naturais da Várzea - ProVárzea/Ibama**. Manaus: IBAMA: MMA, 2008. 48 p.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Deter Intenso**. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/deter/deter-intenso>. Acesso em: 28 abr. 2021a.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **PRODES – Amazônia**. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 28 abr. 2021b.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **BDQueimadas**. São José dos Campos, INPE. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 28 abr. 2021c.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphânio (coord.), et al. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H. Sistemas pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DAS PASTAGENS, 2., 1993. Jaboticabal. **Anais [...]**. Jaboticabal: UNESP, 1993. p. 216–245.

MAPBIOMAS. **O projeto**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: 08 mar. 2022a.

MAPBIOMAS. **Artigos mapbiomas**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/categoria/105-artigos-mapbiomas>. Acesso em: 08 mar. 2022b.

MAPBIOMAS. **O que é o MapBiomas Alerta**. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org/>. Acesso em: 07 mar. 2022c.

MAPBIOMAS. **Método MapBiomas Fogo**. Disponível em: [https://mapbiomas.org/mapbiomas-fire-method?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/mapbiomas-fire-method?cama_set_language=pt-BR). Acesso em: 07 mar. 2022d.

MAURANO, L. E. P.; ESCADA, M. I. S.; RENNO, C. D. Padrões espaciais de desmatamento e a estimativa da exatidão dos mapas do PRODES para Amazônia Legal Brasileira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 1763-1775, 2019.

MENESES, P. R. Princípios de sensoriamento remoto. In: Meneses, P. R.; Almeida, T. (org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: CNPq, 2012. p. 1-120.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. (org.). **Reflectância dos Materiais terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

PARENTE, L.; NOGUEIRA, S.; BAUMANN, L.; ALMEIDA, C.; MAURANO, L.; AFFONSO, A. G.; FERREIRA, L. Quality assessment of the PRODES Cerrado deforestation data. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100444>.

SCARAMUZZA, C. A. M. et al. Land-use and land-cover mapping of the Brazilian Cerrado based mainly on Landsat-8 satellite images. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 69/6, p. 1041-1051.

SILVA, V. P. R.; SILVA, R. A.; MACIEL, G. F.; SOUZA, E. P.; BRAGA, C. C.; HOLANDA, R. M. Soybean yield in the Matopiba region under climate changes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 1, p. 8-14, 2020.

SOUZA JUNIOR, C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, Basel, v. 12, n. 17, p. 1-27, 2020. DOI: 10.3390/rs12172735.