



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

sid.inpe.br/mtc-mxx/aaaa/00.00.00.00-XXX

**DINÂMICA DO USO E COBERTURA DO SOLO EM ÁREAS DE
EXTRAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA DO ESTADO DO PARÁ:
ESTUDO DE CASO NA FAZENDA RIO CAPIM –
PARAGOMINAS/PA**

Anderson Nascimento de Medeiros

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientada pelo Dr
Marcos Adami e Dr Weber Geovanni
Mendes Maciel

URL do documento original:
<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE
São José dos Campos - SP
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Cutter Sobrenome, Prenome(s) Completo(s) do(s) Autor(es).
Título da publicação / Nome(s) Completo(s) do(s) Autor(es). - São José dos Campos: INPE, ano da publicação.

Grau (Mestrado ou Doutorado em Nome do Curso) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, ano de defesa.

Orientador: Nome completo do orientador(es).

1. Assunto. 2. Assunto. 3. Assunto. 4. Assunto. 5. Assunto.
I. Título

CDU



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License



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

sid.inpe.br/mtc-mxx/aaaa/00.00.00.00-XXX

**DINÂMICA DO USO E COBERTURA DO SOLO EM ÁREAS DE
EXTRAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA DO ESTADO DO PARÁ:
ESTUDO DE CASO NA FAZENDA RIO CAPIM –
PARAGOMINAS/PA**

Anderson Nascimento de Medeiros

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientada pelo Dr
Marcos Adami e Dr Weber Geovanni
Mendes Maciel

URL do documento original:
<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE
São José dos Campos - SP
2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por sua Divina Providência imensurável que nunca me abandona. Agradeço a minha Mãe, a mulher mais forte e exemplar que já passou pela terra. A mesma que faz das “tripas coração” para me ajudar a concluir minha graduação e nunca me abandonar. Sou grato ao meu Pai Mamá por todo suporte e carinho por mim e minha mãe. Agradeço à minha adorável Liana por segurar firme minha mão em cada passo da minha vida, és minha parceira e não haveria pessoa melhor para dividir cada momento. Sou grato à minha Tia Silvana por todo apoio e carinho por mim. Agradeço ao INPE pela oportunidade de produzir ciência, assim como sou grato ao CNPq por todo apoio à pesquisa científica nacional. Agradeço também à Nívia Rocha por todos os ensinamentos, paciência e dedicação ao compartilhar seus vastos conhecimentos comigo. Assim como sou grato ao Professor Dr. Weber Geovanni Maciel e ao Orientador Marcos Adami. Agradeço também ao Marck Silva por todo suporte dado. Em último, mas não menos importante, agradeço a todos aqueles que compartilham os perrengues diários, principalmente os da faculdade. Amigos. Carrego no peito o semblante de cada um e desejo tudo de melhor à todos estes.

RESUMO

A região norte do país se destaca economicamente devido a intensa prática de extração seletiva de madeira na região, tendo em vista que sua floresta abrange uma considerável parte da Amazônia e abriga inúmeras espécies de árvores com grande valor comercial, desse modo, fatores sociais, mas principalmente econômicos, refletem na dinâmica de uso e cobertura do solo ao longo desse território. Assim, é necessário a utilização de imagens de satélites como meio de monitorar o comportamento das áreas de extração seletiva de madeira na região norte do Brasil. Partindo dessa necessidade, os satélites Landsat 8, Sentinel e Planet, ferramentas eficazes de monitoramento, são utilizados neste trabalho com o intuito de analisar a abertura de dossel ocasionada pela extração seletiva de madeira para estimar os impactos desse fenômeno na floresta da Fazenda Rio Capim, localizada na cidade de Paragominas no estado do Pará, por meio de geoprocessamento e sensoriamento remoto entre os anos de 2016 a 2021, através do Google Earth Engine, com base no método de leitura de imagens a partir do Modelo Linear de Mistura Espectral e o Realce, duas metodologias aplicadas no domínio do monitoramento por satélite. Para a estimativa, é realizada o cálculo de área a partir da observância da abertura do dossel. Tomando os resultados obtidos observou-se que os três tipos de imagens utilizadas permitiram identificar as áreas de extração seletiva de madeira de forma eficiente, porém com níveis de detalhamento distintos. Notou-se que as imagens Planet, por terem maior resolução espacial, possibilitaram constatar aberturas no dossel de forma mais detalhada e com áreas maiores, já as imagens Sentinel e Landsat, permitiram uma caracterização em um quantitativo de área menor e com um grau menor de detalhamento. Verifica-se que a extração seletiva, quando comparada a outros métodos de usufruir dos recursos naturais na dinâmica socioeconômica, torna-se mais eficiente quando se leva em consideração os impactos ambientais.

Palavras-chave: Atividade Madeireira. Amazônia Oriental. Sensoriamento Remoto. Extração Seletiva de Madeira. Satélites.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 6.1 – UPA 20	32
Figura 6.1 – Imagem capturada pelo sensor do satélite Landsat-8	3
Figura 6.2 – Aplicação do MLME na imagem capturada pelo Landsat-8	3
Figura 7.1 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2019 através do Landsat. 6	6
Figura 7.2 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2020 através do Landsat. 7	7
Figura 7.3 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2021 através do Landsat. 7	7
Figura 7.4 – Imagem capturada no ano de 2018.....	8
Figura 7.5 – Índicio de estrada no território da UPA	9
Figura 7.6 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2017 através do Sentinel.10	10
Figura 7.7 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2018 através do Sentinel.10	10
Figura 7.8 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2019 através do Sentinel.11	11
Figura 7.9 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2020 através do Sentinel.11	11
Figura 7.10 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2021 através do Sentinel.12	12
Figura 7.11 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2017 através do Planet.13	13
Figura 7.12 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2018 através do Planet.13	13
Figura 7.13 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2019 através do Planet.14	14
Figura 7.14 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2020 através do Planet.14	14
Figura 7.15 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2021 através do Planet.15	15
Figura 7.16 – Observação mais ampliada na área onde ocorre a maior taxa de extração.	16
Figura 9.17 – Índicio de estrada dentro da UPA	17

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
QUADRO 6.1 – Características dos Satélites	1
QUADRO 7.2 – Estimativas das áreas através do Landsat	17
Gráfico 7.1 – Comportamento da extração a partir do Landsat.....	18
QUADRO 7.3 – Estimativas das áreas através do Sentinel	18
Gráfico 7.2 – Comportamento da extração a partir do Sentinel.....	19
QUADRO 7.4 – Estimativas das áreas através do Planet.....	19
Gráfico 7.3 – Comportamento da extração a partir do Planet	20

LISTA DE SÍMBOLOS

μm - micrômetro

nm - nanômetro

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivos.....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Amazônia Legal Brasileira como uma das principais fontes de recursos naturais do país.....	19
3 DISTINÇÃO DO DESMATAMENTO E DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL A PARTIR DO CENÁRIO NACIONAL	21
3.1 Desmatamento	21
3.2 Degradação Florestal	22
4 EXTRAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA.....	23
5 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À EXTRAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA.....	26
5.1 Processamento digital de imagens a partir da análise de captura baseada em objetos.....	26
6 METODOLOGIA.....	30
7 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E EMPRESA RESPONSÁVEL PELA EXTRAÇÃO SELETIVA LOCAL.....	30
7.1 Fazenda Rio Capim.....	30
7.2 Grupo Cikel.....	31
8 BANCO DE DADOS	32
9 FUNÇÃO DE DEFINIÇÃO DO MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL E DO REALCE.....	2
10 CLASSIFICAÇÃO A PARTIR DO RANDOM FOREST.....	5
11 OBSERVAÇÕES E RESULTADOS.....	6
11.1 IMAGENS DA UPA 20 GERADAS ENTRE OS ANOS DE 2019 E 2021 PELO SATÉLITE LANDSAT-8	6
11.2 IMAGENS DA UPA 20 GERADAS ENTRE OS ANOS DE 2017 E 2021 PELO SATÉLITE SENTINEL	10

11.3	IMAGENS DA UPA 20 GERADAS ENTRE OS ANOS DE 2017 E 2021 PELO SATÉLITE PLANET	13
11.4	ESTIMATIVA DA ÁREA DE EXTRAÇÃO E ÁREA FLORESTAL.....	17
11.4.1	Landsat 8	17
11.4.2	Sentinel.....	18
11.4.3	Planet.....	19
12	CONCLUSÕES.....	20
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1 INTRODUÇÃO

Dentre os inúmeros meios de monitoramento e acompanhamento da extração seletiva de madeira na Amazônia, a utilização de imagens de satélites ópticas, nas últimas décadas, vem se destacando como uma prática veemente aplicada para estimar os impactos da extração seletiva na região. Já foram realizadas inúmeras pesquisas que comprovam o poder de competência dessas ferramentas do sensoriamento remoto em quantificar as áreas exploradas. (MATRICARDI et al., 2013). As práticas de extração seletiva de madeira em áreas como a Amazônia são aplicadas sobretudo pela extração de espécies florestais com maior valor comercial (DING et al., 2017). Esses serviços englobam a construção de estradas que permitem acessar as florestas, formação de pátios para estoque de toras, ramificações de arrastes e a criação de clareiras como resultado direto do corte e derrubada das árvores no intrínseco da floresta (DING et al., 2017). Em palavras gerais, a extração seletiva de madeira sucede na abertura de dossel e impactos diretos às árvores e arbustos que se encontram localizados dentro da floresta (MATRICARDI et al., 2013). Esse processo de extração de modo seletivo resulta em níveis distintos de modificações na floresta, esses fatores são diretamente ligados com as técnicas de manejo florestal, frequência de corte e onda de exploração empregada (TRITSCH et al., 2016).

Com o intuito de minimizar esses fatores de impacto nas florestas, a Extração de Impacto Reduzido (EIR) se apropria de uma gama de ferramentas e execuções de manejo antes da extração, durante o processo e após a extração florestal. Como é o caso da utilização de pequenas clareiras e um manuseio diferenciado na remoção de cipós que reduzem o impacto ambiental, com o intuito de garantir uma futura reestruturação florestal mais rápida, além de promover a sustentabilidade no ramo da extração (TRITSCH et al., 2016). Em contrapartida, um manejo florestal inadequadamente aplicado possui a capacidade de reduzir a regeneração do estoque comercial madeireiro, e ainda pode encadear uma gama de interferências ecológicas como, diminuição da boa condição da água, interferir na biodiversidade local, promover a diminuição dos estoques de

carbono, entre outros (PUTZ et al., 2012). As estratégias de extração de impacto reduzido possuem a capacidade de minimizar de 25 a 33% dos efeitos na floresta equiparado com a exploração madeireira de forma convencional (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996). Quando degrada, a floresta perde, em partes, a sua capacidade produtiva e se forma, através de ações antrópicas, instrumento de degradação para outros fins de uso da terra por parte da indústria (MATRICARDI et al., 2013; CELENTANO et al., 2018).

Assim, são aplicadas inúmeras técnicas e ferramentas para identificar as áreas de extração seletiva de madeira, como é o caso da utilização das imagens de satélites (ASNER et al., 2005), a análise visual alicerçada com a rotulação semiautomática com o filtro de textura adequado (MATRICARDI et al., 2013), a junção de radar com capturas aéreas e imagens óticas de satélites em orbita (ZHURAVLEVA et al., 2013) e a classificação com base em objetos (GRECCHI et al., 2017).

Tendo em vista a importância do acompanhamento da Amazônia em seus mais amplos aspectos, sejam eles ambientais ou não (BOMFIM et al., 2016), esse relatório surge como meio de analisar as aberturas de dossel oriundas do processo de extração seletiva de madeira, uma vez que, através dessas análises, pode-se estimar os impactos ambientais da extração seletiva de uma determinada área, além de averiguar a eficiência da utilização dos satélites Landsat, Sentinel e Planet como instrumentos de monitoramento. A área de estudo adotada foi a Fazenda Rio Capim, localizada no Leste do estado do Pará. O território faz parte da Amazônia Legal Brasileira (ALB) e encontra-se destinado à extração seletiva de madeira exercida pela empresa CIKEL. Foi analisada a Unidade de Produção Anual (UPA) 20, explorada a partir do ano de 2017, essa unidade e as demais se caracterizam como áreas de floresta natural passível de exploração através do manejo florestal para a aquisição de bens e serviços (achar alguma referência). O processo de monitoramento dentro da UPA se dará pela interpretação de imagem dos satélites mencionados, com base em métodos aplicados pelo geoprocessamento e sensoriamento remoto, visto que estes mecanismos provaram serem úteis no monitoramento de vegetação em larga escala, pois possibilita observações consistentes da vegetação ao longo do

tempo e do espaço (CHEN et al., 2019). Essas imagens serão acessadas pelo Google Earth Engine, ferramenta de nuvem livre e de simples acesso.

1.1 Objetivos

Esse relatório tem como objetivo identificar e analisar a abertura de dossel ocasionada pela extração seletiva de madeira com o auxílio de imagens dos satélites Landsat-8, Sentinel e Planet.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Amazônia Legal Brasileira como uma das principais fontes de recursos naturais do país

É notório que a Amazônia é uma das principais fontes de florestas tropicais úmidas do planeta e suas áreas de vegetação são de fundamental importância para a estabilidade ambiental em um âmbito global, porém, a região amazônica tem sido ameaçada pelo desmatamento conforme à intensidade de exploração dessas florestas por parte do homem (HADDAD et al., 2015). A Amazônia Internacional ou Pan-Amazônia, possui aproximadamente 8 milhões de quilômetros quadrados, representado cerca de 5% da superfície terrestre e metade do continente sul-americano, ocupando uma parte territorial de nove nações sul-americanas, dentre elas, o Brasil (MARQUES E SILVA, 2012). O território brasileiro possui a maior área de floresta amazônica da América do Sul, cerca de 70% da área total está localizada no interior do país, especificamente na região norte (WANG et al, 2020), a Amazônia Brasileira possui por volta de 4 milhões de quilômetros quadrados da área total da floresta Amazônica, tal área, está distribuída em estados como o Amazonas, Pará, Tocantins, Maranhão, dentre outros (COSTA e ALVES, 2018).

Principalmente devido a densa área florestal que a Amazônia Brasileira possui, nas últimas três décadas, o Brasil emergiu como uma forte potência no agronegócio global. Especificamente, durante a década de 1970, o país era um dos principais importadores de produtos alimentícios e mercadorias, e o déficit médio na balança comercial girava em torno de 9 bilhões de reais. Diante disso, o Governo Federal notou que seria necessário um plano estruturado de longo prazo baseado em subsídios para todo o mercado da agricultura e pecuária

nacional (CHADDAD, 2016). Em meados da primeira década do século XXI, o país continuou ganhando relevância na economia global devido sua ascensão econômica, baseada, em maior parte, na extensão das áreas de cultivo para a produção de mercadorias e obras de infraestruturas como estradas, ferrovias e usinas hidrelétricas (SAUER 2018). Nesse sentido, o país se consolidou como um dos principais exportadores de produtos agrícolas como soja, açúcar, frango, café e carne bovina. Essas afirmações evidenciam o fato desses setores serem responsáveis por mais de 25% do PIB nacional, fomentado cerca de 33% da soja mundial e 18% da carne bovina (FAO et al., 2018). A ascensão do agronegócio brasileiro ocorreu, em maior parte, na região da Amazônia Brasileira, diante da sua disponibilidade de recursos naturais, reservas minerais, recursos florestais (MEDEIROS e YOUNG, 2011). Esse fato acarretou ao Brasil o título de país responsável pela maior taxa de desmatamento e degradação florestal das áreas verdes da Pan-Amazônia. Estudos apontam que, em 2019, ocorreu um aumento estimado de 50% em relação ao ano anterior em desmatamento e degradação, com perdas florestais significativas e irreversíveis (ESCOBAR, 2019). Convém enxergar que esses dois fenômenos são a fonte para tal supressão total ou parcial das áreas de vegetação da Amazônia Legal Brasileira (ALB). O emprego desses modos de execução se caracteriza como sistema convencional de exploração, que consiste em expandir as fronteiras das áreas exploradas de maneira desproporcional, focando somente no quantitativo de bens extraídos, buscando retorno econômico de curto prazo. Portanto, se faz necessário e importante refletir sobre a real situação da Amazônia, que manifesta-se como berço de riqueza ambiental, em que tal prosperidade se encontra cada vez mais destruída. Dessa forma, mesmo a ocorrência de ascensão econômica provinda do Brasil, seu modelo a curto prazo, rendendo graves desmatamentos, ameaça não somente uma das mais importantes biodiversidades do país, e do planeta, como também prevê um péssimo futuro para esta mesma economia, tendo em vista a previsão lógica de escassez de matéria prima, existindo assim, existe uma preocupação de resguardar a vida florestal da Amazônia.

3 DISTINÇÃO DO DESMATAMENTO E DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL A PARTIR DO CENÁRIO NACIONAL

3.1 Desmatamento

Para entender como o desmatamento e a degradação florestal se consolidaram em território nacional, é necessário compreender que a partir da segunda metade dos anos 60, o perfil do mercado nacional passou por mudanças gradativas. Os incentivos financeiros por parte do governo foram designados, em maior parte, para o mercado de exportação nacional, com ênfase nos produtos agropecuários. Diante desses impulsos governamentais, o país tornou-se uma potência agropecuarista, mas historicamente muito desse crescimento ocorreu por meio da abertura de novas áreas com o desmatamento. Desde o final da década de 1970 até 2018, estima-se que pastagens e lavouras substituíram cerca de 65 milhões hectares de florestas e savanas na Amazônia brasileira (MAPBIOMAS, 2019). No mesmo período, calcula-se que a produção anual de soja nesse território aumentou de 1,7 para aproximadamente 40 milhões de toneladas, em torno de 38 milhões de toneladas a mais (IBGEa, 2018), ao mesmo tempo que o rebanho bovino aumentou de 15 milhões para 86 milhões de animais (IBGEb, 2018).

Essa dinâmica de evolução econômica industrial do agronegócio foi baseada, em grande parte, pelo desmatamento. Esse fenômeno consiste em uma atividade antropogênica caracterizada como retirada total ou parcial da vegetação de uma determinada área, a qual, na maioria das ocasiões os danos são irreparáveis, causando a fragmentação do habitat (DRI, 2020). Apesar de que, em algumas áreas, os incentivos financeiros do governo resultaram em benefícios sociais como aumento de renda, melhorias na saúde pública e acesso à educação, devido principalmente a geração de empregos (RICHARDS et al., 2015), gerou, em outras localidades, violência rural (DANTAS et al., 2017), desigualdade de renda e concentração fundiária (SANT'ANNA, 2017). Embora tenha possibilitado à região gerar grãos e carne para alimentar o mercado interno e externo, o modelo de exploração convencional baseado nesse fenômeno antropogênico em questão transfigurou uma ameaça para a produção futura

(IPCC et al., 2019). Além do mais, o efeito cumulativo do modelo tradicional tem contribuído para as mudanças climáticas regionais (SILVÉRIO et al., 2015) e possui capacidade para modificar a circulação em escala planetária (MAHMOOD et al., 2014). Citando um caso análogo, no sul da Amazônia, o desmatamento local (reduzindo fluxo de vapor de água para a atmosfera) já adiou o início da estação chuvosa e encurtou a estação de crescimento (LEITE-FILHO et al., 2019). Esse processo gera modificações na cobertura da terra, por exemplo, a diminuição da cobertura do dossel a partir de um determinado limite, além disso, gera outros fins de utilização do solo, como é o caso de áreas florestais se transformarem em áreas de produção agrícola ou solo de uso urbano. Conforme o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) a vegetação secundária ou em regeneração diz respeito às estruturas herbáceas, arbustivas ou arbóreas oriundas de processos naturais de sucessão, após supressão totalitária ou segmentária da vegetação são por fatores antrópicos ou pretextos naturais (CONAMA, 1994). No contexto desse possível cenário, as taxas de alto desmatamento chegam a se equiparar com as de 2004, onde foi desmatado 27.772 km² da ALB (INPE, 2022). Vale pontuar que em áreas da ALB dentro da região do estado do Pará, possuem a tendência de serem as mais atingidas pelo desmatamento até o ano de 2050 (ASNER, 2005).

3.2 Degradação Florestal

Embora existam inúmeros conceitos de degradação florestal, considera-se a degradação florestal uma transformação excludente provisória ou de longos períodos no estado da floresta. Esse estado abrange desde as funções como desenvolvimento biológico, estruturação de espécies, composição de florestas, umidade atmosférica da área ou utilização e relevância da floresta para os seres humanos (GHAZOUL e CHAZDON, 2017). As alterações nas características da floresta possuem a possibilidade de serem definidas através de comparações com uma linha de base não perturbada antecedente ou deduzidas de forma espacial usando florestas não perturbadas análogas. Dentre os fatores da degradação, podemos citar as secas extremas, consequência direta do processo de fragmentação do habitat, incêndios florestais e extração de madeira (NETO, 2021), afetando a mortalidade de árvores, ocorrência de incêndios e mudança

no balanço de carbono na atmosfera (WITHEY, 2018; BERENQUER, 2021). O processo de extração de madeira inclui o corte seletivo legal e ilícito que acontece nas florestas (RUTISHAUSER et al, 2015; AGUIAR et al, 2016). Incêndios florestais englobam quaisquer que sejam os incêndios nas florestas, pois eles causam degradação diante da pouquíssima adaptação das espécies de árvores nativas em relação ao fogo (COCHRANE et al, 1999). Além disso, podemos citar efeitos de isolamento, extração de produtos florestais não madeireiros, estresse térmico como fatores que modificam a condição essencial das florestas.

Dentro da perspectiva da degradação florestal, à medida que o uso da terra pode ou não ser modificado ao longo do procedimento de degradação, a cobertura da terra não se altera, em poucas palavras, floresta continua sendo floresta. Apesar disso, essa tese pode ser corrompida ao longo do monitoramento em escala. O monitoramento das florestas através de imagens de satélite não é capaz de desmistificar simplificadaamente as alterações no uso da terra – áreas florestais alvos de grandes distúrbios, como florestas queimadas três ou mais vezes, possuem a características de serem agrupadas como desmatadas, ao mesmo tempo em que o uso da terra nessa área não tenha se alterado. Qualquer desmatamento examinado possui a tendência de ser confundido com degradação florestal. Assim, compreender a degradação com uma atividade distinta do desmatamento é, então, vital para aprimorar redes de acompanhamento, fatores climáticos e políticas de preservação e padrões acerca da aptidão da ALB e suas comunidades humanas, em paralelo das transformações corriqueiras na cobertura/utilização da terra e crescente presença de ações climáticas.

4 EXTRAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA

A extração seletiva de madeira surge como um método que causa menos danos quando aplicado de maneira correta e comparado ao desmatamento. Antes de mais nada, é importante compreendermos que o modelo de extração seletiva de madeira não é um método isento de impactos ambientais. Essa metodologia consiste em uma gestão florestal sustentável ou exploração madeireira de

impacto reduzido com base no uso múltiplo de recursos madeireiros e não madeireiros que são fornecidos pelas florestas, salvaguardando assim serviços ambientais (CONDÉ; HIGUCHI; LIMA, 2019), ou seja, ela se compõe em diversas soluções que, quando aplicadas simultaneamente, proporcionam a gestão florestal sustentável adequada à ocasião. Dentre essas soluções, podemos citar o gerenciamento de execuções de colheita (por exemplo, mapeamento e marcação de árvores comerciais; esquematização de vias, pátios de toras e trilhas de derrapagem; e usando técnicas de corte direcional para evitar danos à colheita futura de árvores e riachos), corte de lianas em árvores a serem colhidas no mínimo 6 meses antes da derrubada, e seguindo as orientações sobre derrubada das mesmas (GOODMAN et al., 2019)

Dentro da sistemática da extração seletiva de maneira, podemos citar que o método de extração de impacto reduzido (EIR) é o que mais se destaca quando o assunto é controle e planejamento estratégico das operações madeireiras. Nesse processo, técnicas como fechamento pós colheita de estradas e trilhas de arrastes, são empregadas para garantir o mínimo dos impactos florestais possíveis, principalmente para com o solo (PUTZ et al., 2008). Ademais, em algumas ocasiões, é realizado um inventário das árvores da área de extração com o intuito de possuir um acompanhamento e controle efetivo das espécies locais. Dentro do modelo de exploração de impacto reduzido, quando o tema é estrada, o cerne é realizar trajetos e caminhos com ênfase em reduzir a sua largura e densidade (LONTSI et al., 2019).

Quando comparada a incêndios florestais, sejam eles naturais ou antropológicos, e com a exploração convencional de madeira, a extração seletiva possui a característica de apresentar índices de menor impacto na biodiversidade local, preservando a riqueza de espécies como aves, mamíferos, invertebrados, animais em geral, além de zelar pela diversidade das plantas locais, ou seja, é de fundamental importância à aplicação desse esquema de extração, tendo em vista que o mesmo expõe-se de maneira contundente para preservar áreas florestais fortemente atacadas pelo processo de exploração convencional.

A exploração sustentável dos recursos florestais é um dos maiores desafios da Amazônia na área ambiental. A insistência dos altos índices de desmatamento e exploração ilegal na região revela que a política de segurança ambiental ainda necessita ser mais rigorosa através de inúmeras estratégias. Nesse sentido, o Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) para o desenvolvimento socioambiental, enxergado pela legislação ambiental como indispensável para uso dos recursos naturais na Amazônia, é uma das diretrizes que permeiam a extração seletiva de madeira no território brasileiro. Apesar dos benefícios que podem ser trazidas pelo PMFS, a elaboração, aprovação e controle pelo órgão ambiental competente não é tão simples quanto imaginamos. Antes de mais nada, precisamos compreender que a noção de desenvolvimento é firmada por um tripé, e, a partir dele, o desenvolvimento sustentável poderá ser debruçado em socialmente incluyente, ambientalmente sustentável e economicamente sustentada no tempo. Temos oito extensões que levamos em consideração: a cultural, a social, a ecológica, a territorial, a ambiental, a econômica e a política, em seus aspectos internos e externos (SACHS, 2009).

PMFS está inteiramente relacionado com a noção de desenvolvimento sustentável exposta. É a maneira enxergada para formular uma relação entre a exploração do recurso natural e a proteção da qualidade ambiental e dessa maneira promover um desenvolvimento ambiental. Nesse sentido, o manejo ecológico é condição prevista expressamente na Constituição da República Federativa do Brasil – CRFB (art. 225, § 1º, I) ao dissertar sobre a obrigação do Poder Público de preservar e reconstruir os processos ecológicos essenciais e oferecer o manejo ecológico das espécies e ecossistemas. São diversas as normas infraconstitucionais que regulam o artigo 225 da CRFB, principalmente a Lei Federal nº 12.651/2012, Código Florestal, que outorgou um capítulo inteiro para abordar sobre a exploração florestal, dispondo acerca da exploração de florestas nativas e formações sucessoras, seja de domínio público ou não, ao licenciamento pelo órgão ambiental competente, conforme aprovação prévia de PMFS que contenha técnicas de gestão, exploração, restituição florestal e manejo coerente com os variados ecossistemas que a cobertura arbórea forme (art. 31).

Este plano de manejo florestal se caracteriza como sendo o rendimento racional e ecologicamente sustentável, necessitando ser incentivado como um instrumento para a construção de um desenvolvimento ambiental sustentável, de tal modo que não trate somente do desenvolvimento econômico. Devido a essas questões, é permitido observar os traços do desenvolvimento sustentável no Plano de Manejo Sustentável: o aspecto social e cultural, correlacionado com a melhoria da qualidade de vida da sociedade que gerenciar o plano de manejo florestal sustentável; o fator econômico referente a abertura de vias de negociação lícita do produto no mercado interno e externo; a característica territorial e ecológico, uma vez que permite o uso devido e ecologicamente equilibrado da terra/solo e identificação do responsável pela exploração/extração. Para a devida realização da extração seletiva de madeira, é necessário que o responsável legal pelo procedimento tenha sabido dos requisitos para o começo dessa atividade extrativa, é nesse sentido que o plano de manejo florestal torna-se fundamental e indispensável.

5 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À EXTRAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA

5.1 Processamento digital de imagens a partir da análise de captura baseada em objetos

O sensoriamento remoto é de fundamental importância para detectar a extração seletiva de madeira, uma vez que, através dele, são realizadas análises de imagens provenientes de satélites que fundamentam essa definição (LUNETTA et al., 2002). A ideia de Sensoriamento Remoto consiste na capacidade de manipular dados e imagens de determinadas áreas à distância, optando de ir ou não ao campo, entretanto, ele não deixa de lado a relevância do trabalho in loco de quaisquer pesquisas científicas. Ele permite a aquisição de dados sobre objetos sem precisar de contato físico com os mesmos (NOVO, 2001). Para a obtenção dos dados referentes aos objetos ao redor da Terra, são empregados pelo Sensoriamento Remoto as relações de energia eletromagnética que ocorre por meio da aquisição de resultados com base na interligação entre objetos elétricos e o magnetismo, essa energia é distribuída por qualquer objeto/corpo

que detenha temperatura maior do que zero absoluto (CEMIN, 2009). A medição dessa energia ocorre por meio do seu comprimento de onda, que em maior parte é muito pequeno. Tendo em vista que essa tecnologia possui inúmeras aplicações, são desenvolvidas diversas técnicas de análise, com o intuito de evoluir cada vez mais a precisão de alcance para a obtenção de resultados com o menor percentual de erro possível. Especificamente, quando há a utilização de satélites, aplica a análise de imagem baseada em objetos. Esse termo expressa uma integração de pixels (segmentação) em objetos que possuem características espaciais e espectrais semelhantes (RYHERD E WOODCOCK, 1996). Em seguida, ao contrário de pixels individuais, eles são classificados. Esse recurso é extremamente eficaz para o a classificação de imagens de satélite de alta resolução (LALIBERTE et al., 2006). Em pesquisas ambientais, é mais vantajoso utilizar a análise de imagem baseada em objetos, tendo em vista que ela proporciona a detecção de manchas de paisagem, fornecendo uma visão dos procedimentos ecológicos locais (BURNETT E BLASCHKE, 2003). Taxas e regiões de mudança de terra conseguem ser mapeadas a partir do sensoriamento remoto utilizando-se de técnicas de processamento de imagens baseadas na detecção ou classificação de alterações. A detecção de mudanças é diretamente ligada às condições de superfície terrestre, essas características alteram a assinatura espectral medida pelo satélite, possibilitando assim, essa detecção, entretanto, a natureza sutil e espacialmente destacada da degradação complica o devido acompanhamento remoto da degradação florestal (GOETZ et al., 2009). Ademais, tais eventos de degradação florestal acontecem em uma escala espacial consideravelmente menor do que os dados de sensoriamento remoto acessíveis. Temos exemplos passados da utilização de dados de alta resolução, todavia o investimento de obtenção de inúmeras imagens na mesma região dificulta o acompanhamento dia-a-dia da área de estudo.

Além dessa técnica, com base nas metodologias que envolvem o Sensoriamento Remoto, a sistematização LIDAR é outro modelo de uso de dados coletados por meio do sensoriamento. Essa técnica trabalha com o intuito de desenvolver levantamentos topográficos e espécimes digitais de terreno. Esta metodologia possibilitou muitos avanços em termos de geotécnicos e geodésicos, tendo em

vista que a precisão desses levantamentos se tornou mais prático e eficaz, principalmente para trabalhos do ramo construtivo, como é o caso de barragens, estradas, usinas hidrelétricas, ferrovias, dentre inúmeras outras aplicações. maior a precisão, mais confiabilidade é agregada aos projetos. A tecnologia do mapeamento por laser scanner é pouco explorada em países em desenvolvimento, devido ao seu alto custo. Porém o levantamento topográfico por perfilamento a laser faz-se necessário para a garantia de um trabalho bem detalhado, evitando assim, problemas com cálculos a posteriores dos projetos. A precisão é um fator extremamente importante em serviços de Engenharia e Cartografia, os quais trabalham constantemente com a ciência Geodésica, propiciando inúmeros cálculos, para a obtenção de sistemas de modelos em projetos diversos. Uma vez necessitando de tanta precisão, essa tecnologia se integra com uma nova técnica, que é o Escaneamento por Laser Aéreo, chamado de LIDAR que funciona como um método para a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos na superfície da Terra. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um pulso de laser que é disparado na direção da superfície.

Dessa maneira, aplicando o método de análise de imagem adequada, pode-se estimar os impactos florestais e no solo de alguns fenômenos florestais, como é o caso da extração seletiva de madeira. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) estimou a degradação florestal para a região do Amazônia desde 2007 através de um sistema de interpretação visual como parte do projeto intitulado como DEGRAD (Mapeamento da Degradação Florestal no Amazônia); entretanto, grande parte das áreas estudadas possuíam tendências a serem derrubadas, seja pela forte exploração seletiva de madeira e/ou queimada (INPE, 2022). Em suma, a maior parcela das pesquisas baseadas em sensoriamento remoto, mapeamento de florestas exploradas nesta região, utilizaram-se de imagens Landsat, que é apontado como um dos satélites mais viáveis para obter dados, tendo em vista que seus dados são gratuitos e adquiridos regularmente. Uma das maneiras de acessar suas informações é através do Google Earth Engine (GEE). O GEE é uma ferramenta baseada em nuvem que permite a seus usuários a capacidade de gerenciar recursos de

computação de enorme desempenho para processamento de altos conjuntos de dados geoespaciais, de forma simples e dinâmica. Ademais, e ao contrário do que ocorre na maioria das agências de supercomputação, o Earth Engine também foi moldado para dar suporte aos pesquisadores e ajuda-los a disseminar facilmente seus resultados para toda comunidade científica, além de formuladores de políticas, ONGs, trabalhadores de campo, e até mesmo o público em geral. Após o desenvolvimento de um algoritmo dentro da plataforma, os usuários podem gerenciar um banco de dados sistemáticos ou implantar aplicativos que promovam interações apoiados pelos recursos do GEE, de forma descomplicada. (GOLERICK et al., 2017). O catálogo de dados detém um grande repositório de informações publicamente acessíveis e uma companhia de dados geoespaciais, incluindo observações capturadas de uma variedade de satélites e conjuntos de imagens aéreas em comprimentos de onda ópticos e não ópticos, previsões meteorológicas, fatores ambientais, climáticos e retrospectivos, cobertura da terra, além de uma série de dados topográficos e socioeconômicos.

A maior parte do acervo do catálogo é formada de imagens de sensoriamento remoto de observação da Terra, dentre elas todo o arquivo Landsat, assim como arquivos completos de dados do Sentinel-1 e Sentinel-2, incluindo previsões climáticas, informações de cobertura da terra e inúmeros materiais de dados ambientais, geofísicos e socioeconômicos. Temos exemplos de estudos do sensoriamento de remoto que utilizaram dessa metodologia de análise de imagens. O Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) desenvolvido pelo INPE, é um deles. Este programa possui a finalidade de estimar a taxa anual de desmatamento de floresta primária na Amazônia Legal Brasileira (INPE, 2022).

A metodologia PRODES se traduz em realizar, de forma anual, o mapeamento do crescimento do desmatamento por corte raso e/ou degradação contínua da vegetação primária, que origina uma falta de cobertura florestal primária durante todo o território dessa vegetação, ou a abolição da vegetação primária em áreas não florestais. Para isto, a evolução do desmatamento é mapeado por meio de fotointerpretação realizadas por profissionais da área de sensoriamento remoto.

Tendo em vista que dentro da estação seca acontece o maior percentual de desmatamento, as propriedades espectrais da vegetação são consideradas ótimas para estimar a taxa de desmatamento, até porque isso gera uma menor taxa de nuvens dentro dessa área. É devido a isto que as imagens selecionadas para a realização das leituras são obtidas durante este período. Por causa da imensa extensão da Amazônia Legal Brasileira, a estação seca muda conforme a latitude, além de serem considerados as características climatológicas da área em estudo.

O Sistema de Detecção da Exploração Florestal (DETEX) é outro programa que se utiliza da análise de imagem baseada em objetos. Esta metodologia foi desenvolvida pelo Serviço Florestal Brasileiro em junção com o INPE, na qual, sua finalidade é produzir mapeamentos em áreas onde ocorreu o processo de extração seletiva de madeira em regiões de florestais sustentáveis. As imagens analisadas são adquiridas por meio do satélite Landsat.

Os progressos no sensoriamento remoto tornaram os satélites de dados o meio mais eficaz de monitorar florestas em grandes escalas espaciais. Esse recurso tecnológico permite avaliar os distúrbios florestais de forma lógica ao longo do tempo, além de analisar o desmatamento e os impactos florestais e no solo devido a extração seletiva de madeira.

6 METODOLOGIA

6.1 Caracterização da área de estudo e empresa responsável pela extração seletiva local

6.1.1 Fazenda Rio Capim

A área de estudo foi conduzida na Fazenda Rio Capim, pertencente à empresa Cikel Brasil Verde Madeiras Ltda., localizada no município de Paragominas, Pará, distante de Belém cerca de 320 km (MACIEL et al., 2009). O município possui uma área de 19.342,565 km², uma população de 105.538 habitantes com uma densidade demográfica de 5.46 habitantes/km² (IBGE, 2022). Destaca-se que antes dos anos 2000, Paragominas recebia o título “município marrom” devido seu alto índice de desmatamento na região, no qual se caracterizava como uma situação de alerta para a dimensão ambiental. Porém, no período de

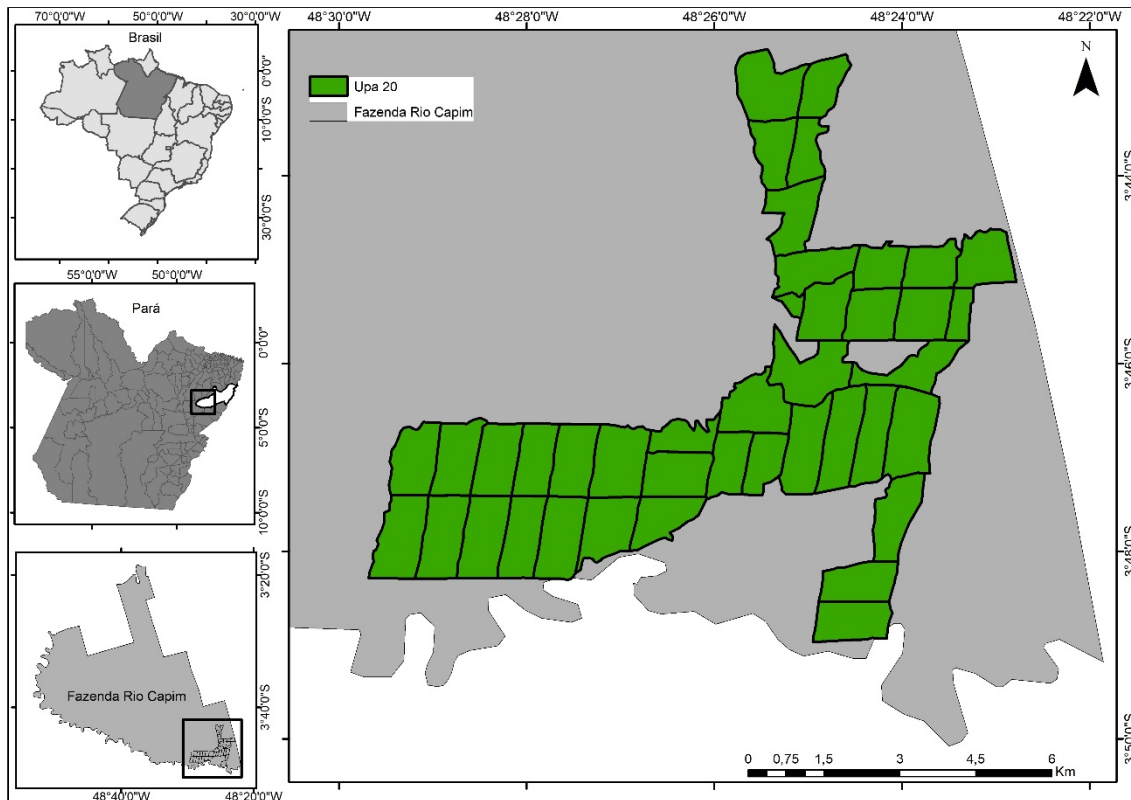
2000 a 2010, o mesmo saiu desta situação e foi classificado como aceitável, isso graças às ações de combate ao desmatamento e políticas públicas de reflorestamento de algumas áreas (DE OLIVEIRA; GOMES; CABRAL, 2012). O clima predominante na região é do tipo "Aw", de acordo com a classificação de Köppen, ou seja, tropical chuvoso com estação seca bem definida, em que possui característica específica de temperatura média anual de 27,2°C. Além disso, a umidade relativa do ar se encontra com 81% e precipitação pluviométrica com média de 1766 mm ano⁻¹, havendo ocorrência de menos disponibilidade hídrica no período de julho a outubro (WATRIN; ROCHA, 1992).

Tratando-se dos tipos de solos, há ocorrência dos seguintes na Fazenda Rio Capim e das demais localidades do município de Paragominas, respectivamente: Latossolos Amarelos; Argissolos Amarelos; Plintossolos; Gleissolos e Neossolos (RODRIGUES et al., 2003). Os solos apresentam fertilidade muito baixa, tendo em vista que possuem baixa reserva de nutrientes, além da alta saturação ocasionada por alumínio (MORALS CRUTA et al., 1999). A área apresenta uma topografia que vai de plana a suavemente ondulada, com altitude média de 20 metros em relação ao nível do mar (SILVA, 1997). São encontrados os seguintes ambientes fitoecológicos na região de Paragominas: Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme e Floresta Ombrófila Densa Aluvial (IBGE, 1992). A área do projeto é banhada pelas bacias dos rios Capim, Surubiju e Gurupi, (WATRIN; ROCHA, 1992).

6.1.2 Grupo Cikel

A Cikel Brasil Verde Ltda, empresa florestal do Grupo CIKEL, é responsável pela extração seletiva na Fazenda Rio Capim, em Paragominas. O Grupo CIKEL teve suas atividades iniciadas no ano de 1977, em Açailândia (MA), numa pequena serraria que produzia anualmente por volta de 3.000 m³ de madeira serrada. A Unidade de Produção Anual da CIKEL utilizada como área de estudo e coleta de dados do presente trabalho foi a UPA 20, que possui 41 unidades de trabalho (UT), sendo realizada a pesquisa em toda sua extensão.

Figura 6.1 – UPA 20



Fonte: Autoria Própria.

6.2 Banco de dados

Foram utilizadas as imagens do Satélites Landsat-8, Sentinel e Planet. As imagens foram extraídas do banco de dados de cada satélite. Cada satélite possui características distintas entre si. A seguir, são elencadas as principais características dos satélites mencionados.

QUADRO 6.1 – Características dos Satélites

Satélites	Bandas Espectrais utilizadas	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
Landsat 8	(B2) AZUL	0,450 - 0,515 μm	30 m	16 dias	183 km	8 bits por pixel
	(B3) VERDE	0,525 - 0,600 μm				
	(B4) VERMELHO	0,630 - 0,680 μm				
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,845 - 0,885 μm				
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1,560 - 1,660 μm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2,100 - 2,300 μm				
Sentinel	(B2) AZUL	496,6 nm	10 m	16 dias	183 km	8 bits por pixel
	(B3) GREEN	560 nm				
	(B4) RED	664,5 nm				
	(B8) NIR	835,1 nm				
	(B11) SWIR 1	1613,7 nm	20 m			
	(B12) SWIR 2	2.202,4 nm				
Planet	(B) AZUL	455 – 515 nm	4 m	CONFORME MODELO	403 km	12 bits por pixel
	(G) VERDE	500 – 590 nm				
	(R) VERMELHO	590 – 670 nm				
	(N) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	780 – 860 nm				

Fonte: Adaptada da EMBRAPA 2013; GEE

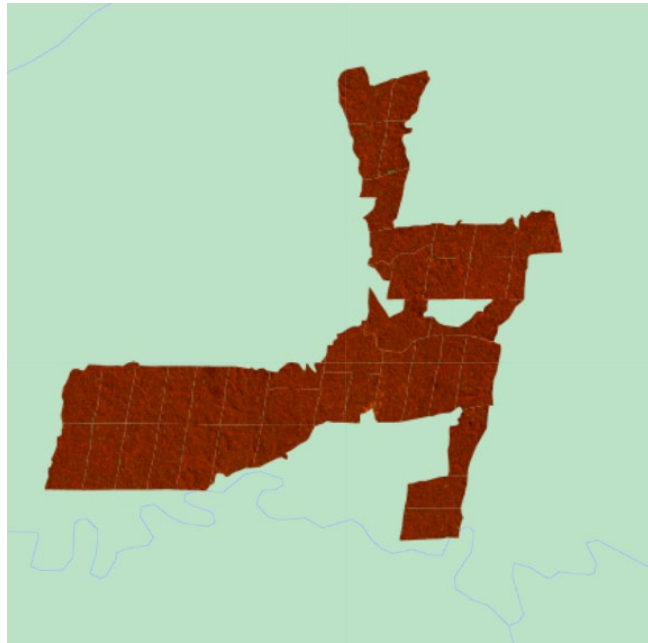
6.3 Função de definição do modelo linear de mistura espectral e do realce

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) é uma matriz de base física que define a contribuição relativa ou abundância de cada membro final com relação a refletância integral registrada para cada pixel. Essa metodologia consiste em estimar a proporção das características do solo, sombra e vegetação para cada pixel a partir na resposta espectral das bandas de entrada. Na ideia da análise a partir do MLME, o espectro de um pixel misto é uma junção dos espectros dos componentes finais e suas dimensões. Esse método se fundamenta com base na seguinte equação (SHIMABUKURO et al., 1998):

$$r_i = a.veg_i + b.solo_i + c.sombra_i + e_i \quad 7.1$$

Onde r_i é a resposta do pixel na banda i da imagem, a, b e c são grandezas de vegetação, solo e sombra (ou água), por essa ordem, que formam o pixel, $veg_i, solo_i$ e $sombra_i$ referem-se às respostas espectrais de cada um dos elementos e, por fim, e_i é o erro intrínseco para a banda i correspondente. As componentes do MLME foram obtidas a partir das bandas dos satélites utilizados (Landsat, Sentine e Planet). Essa aplicação teve o objetivo de realçar as áreas onde ocorre a extração seletiva de madeira. A imagem abaixo a captura realizada pelo sensor do satélite Landsat na UPA 20 no ano de 2021.

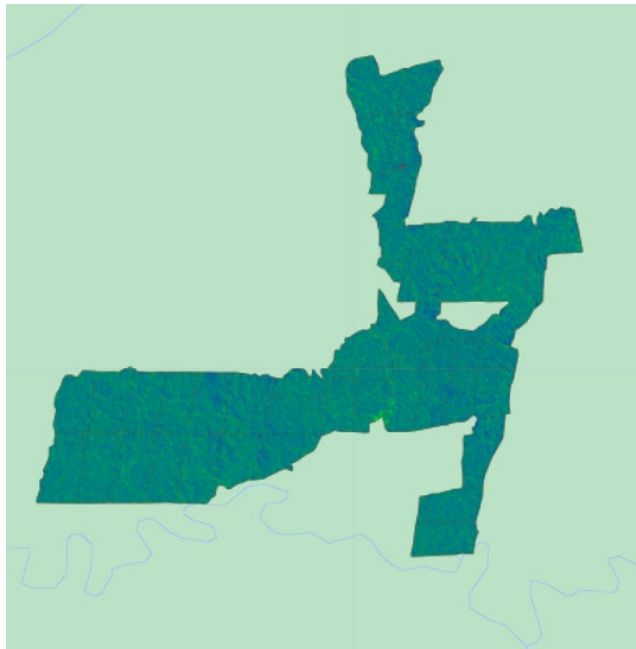
Figura 6.1 – Imagem capturada pelo sensor do satélite Landsat-8



Fonte: Aatoria Própria

Aplicando o MLME, temos a seguinte representação da mesma captura:

Figura 6.2 – Aplicação do MLME na imagem capturada pelo Landsat-8



Fonte: Aatoria Própria

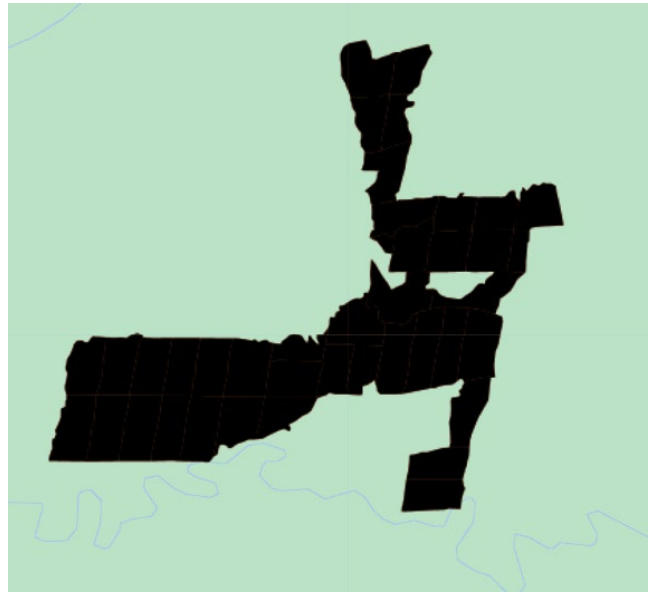
Levando em consideração que as áreas de ocorrência do processo de extração seletiva de madeira têm uma plausível resposta espectral na imagem-fração solo (FS) e baixa resposta espectral na imagem-fração vegetação (FV), a razão entre estas duas imagens foi efetuada para destacar as áreas de extração seletiva de madeira. Esse artifício de manuseio é caracterizado como realce e possui a meta de aprimorar as propriedades a partir de critérios específicos desejados pelo leitor da imagem.

Nessa perspectiva, o contraste entre dois objetos é definido como a razão dos níveis de cinza médio desses mesmos objetos. A partir disso, o manuseio do contraste é definido a partir de uma transferência radiométrica de forma individual no pixel, com o intuito de elevar a distinção visual entre os objetos que se encontram dentro da imagem, ponto a ponto. A função que descreve o realce é a seguinte:

$$C = G \cdot \frac{FS}{FV} + Off \quad 7.2$$

no qual C consiste na imagem resultante, G representa o valor do ganho, FS e FV representam, respectivamente, a imagem fração solo e fração vegetação e Off é o valor de offset. A seguir, temos a aplicação do realce na mesma imagem:

6.3 – Aplicação do Realce na imagem capturada pelo sensor do Landsat 8



Fonte: Aatoria Própria

6.4 Classificação a partir do Random Forest

A metodologia do Random Forest (RF) funciona a partir de um algoritmo supervisionado de machine learning que funciona a partir do aprendizado por conjuntos para classificação e regressão (RAMBO, 2020). Esse classificador se baseia no princípio de árvores de decisão. Sub-amostras são selecionadas aleatoriamente a partir de um número máximo de coletas estabelecido pelo leitor. Essas amostras são estabelecidas como variáveis preditivas para treinamento do classificador. Cada árvore depende dos valores de um determinado vetor amostrado de maneira independente e com a mesma dinâmica de distribuição para todas as árvores de uma determinada área florestal. No período da classificação, de forma singular, a árvore escolhe, para cada pixel associado, a classe temática com o maior índice de acerto. Após esse procedimento, a classe de uso e cobertura de solo mais votada é retornada pelo classificador. Esse método, amplamente utilizado em procedimentos de classificação, torna-se útil no monitoramento em ambientes distintos, desde áreas agrícolas ou florestas naturais (PRADO-OSCO et al., 2019).

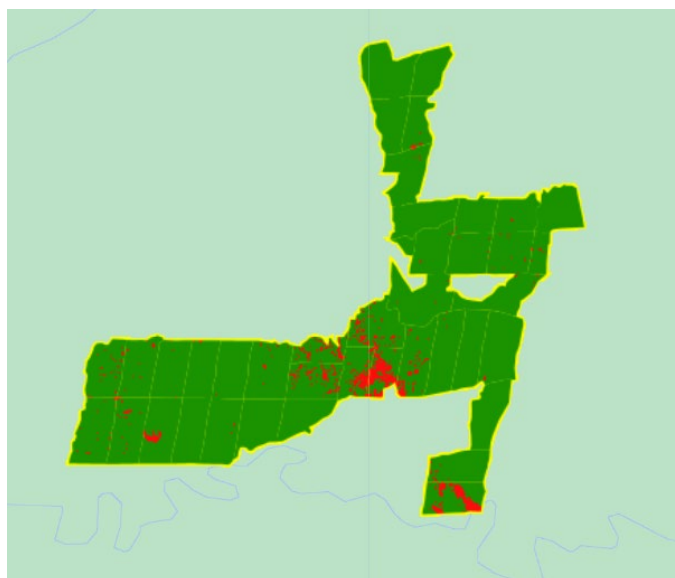
7 OBSERVAÇÕES E RESULTADOS

As áreas florestais exploradas seletivamente demonstram um grande desafio quando o intuito é mapeá-las, pois apresentam mudanças suaves no dossel, em relação a sua reflectância, dificultando o monitoramento por satélite (MATRICARDI et al., 2013), todavia, ainda assim a aplicação dessa ferramenta é eficaz para regiões florestais.

Essa técnica é frequentemente empregada no sensoriamento remoto, pois ela consegue gerenciar a imagem diante da heterogeneidade do solo e, conseqüentemente, melhora a detecção de áreas de extração seletiva de madeira, principalmente para imagens de média resolução como Landsat. A partir da metodologia explanada nesse relatório, foram geradas as imagens que permitem visualizar o cenário da extração seletiva de madeira dentro da área de estudo, a partir do ano de 2019 até 2021 para o satélite Landsat e de 2017 até 2021 para os satélites Sentinel e planet.

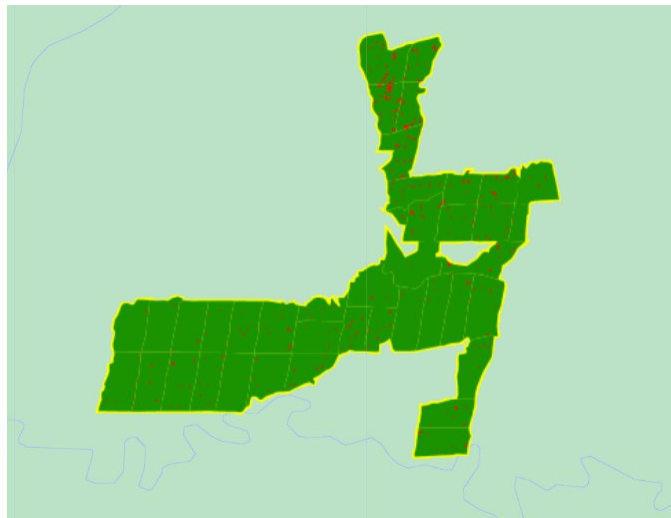
7.1 Imagens da UPA 20 geradas entre os anos de 2019 e 2021 pelo satélite landsat-8

Figura 7.1 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2019 através do Landsat.



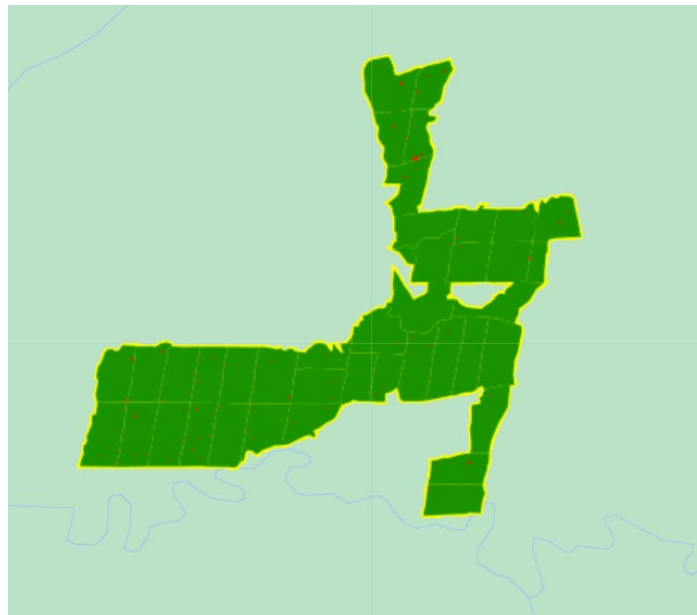
Fonte: Aatoria Própria

Figura 7.2 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2020 através do Landsat.



Fonte: Aatoria Própria

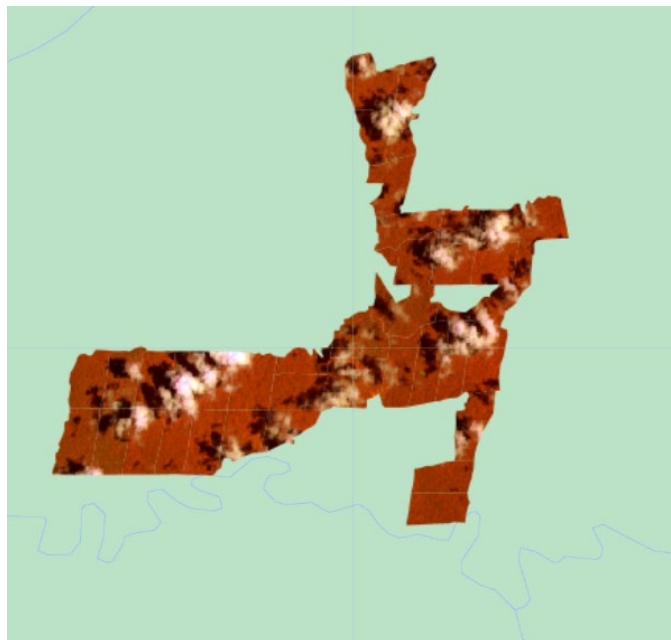
Figura 7.3 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2021 através do Landsat.



Fonte: Aatoria Própria

No satélite Landsat, só foi possível realizar a leitura das imagens a partir do ano de 2019. As imagens dos anos anteriores possuem interferências como uma alta porcentagem de nuvem e grande presença de ruídos.

Figura 7.4 – Imagem capturada no ano de 2018



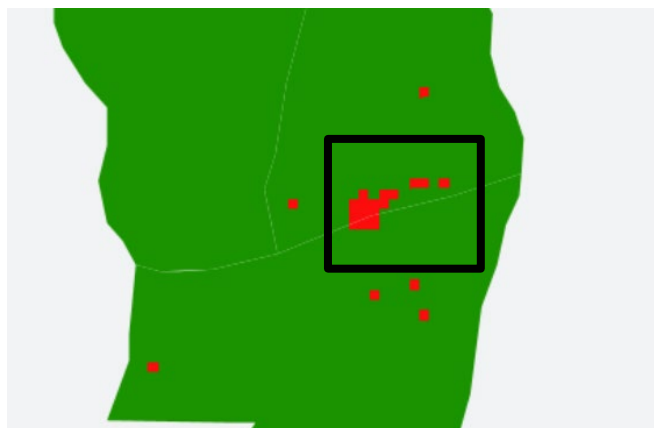
Fonte: Autoria Própria

Percebe-se que a imagem é inviável para a aplicação do MLME.

Os indícios que as imagens reproduzem demonstram que, a prática da extração seletiva se tornou maior durante o ano de 2019, diminuindo no ano de 2020 e 2021, mas ainda assim o fenômeno se encontra presente nesses dois últimos. No ano de 2019, as indicações sugerem que a prática da extração seletiva se consolidou, em maior parte, no centro e no canto inferior esquerdo da UPA, tendo em vista que as regiões em vermelho representam possíveis áreas onde esse fenômeno ocorre, enquanto que a região em verde representa as áreas onde ele não ocorre.

Ainda no ano de 2019, há uma possível construção de estrada no canto superior da UPA, como representado na figura a seguir:

Figura 7.5 – Indício de estrada no território da UPA

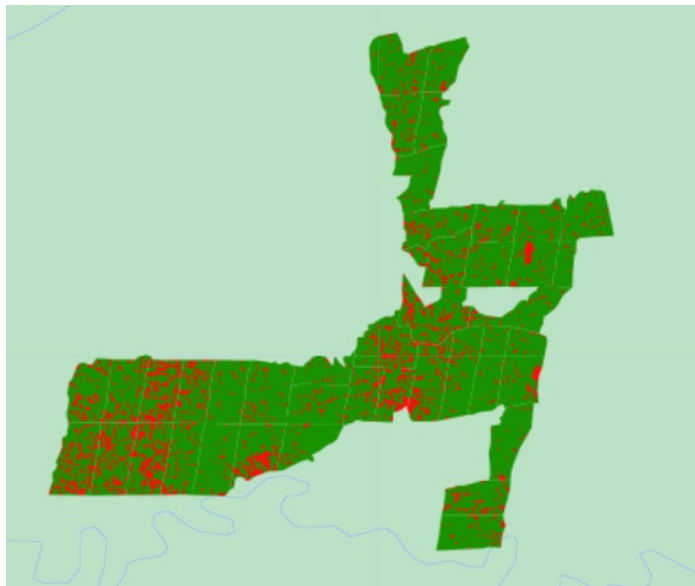


Fonte: Autoria Própria

No ano de 2020, o processo de extração teve a região superior da UPA como foco e se distribuiu ao longo de toda sua extensão. Em 2021, isso também ocorre, por mais que as imagens sugerem que o fenômeno aconteça em uma escala bem menor quando comparada aos dois anos anteriores.

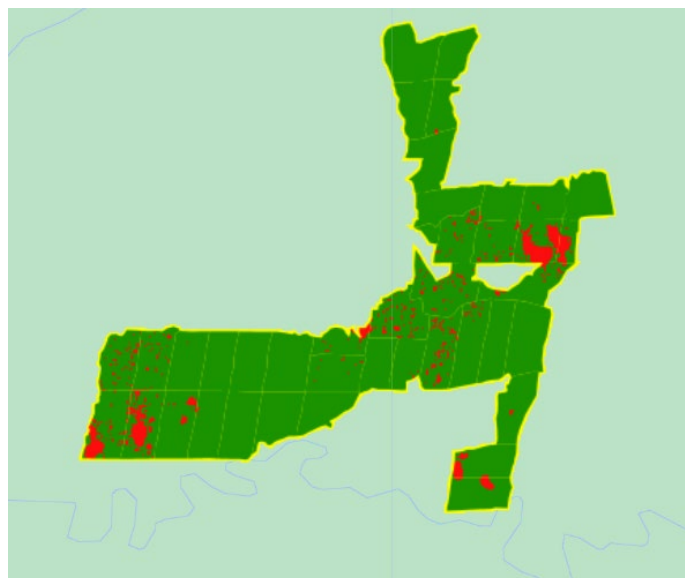
7.2 Imagens da upa 20 geradas entre os anos de 2017 e 2021 pelo satélite sentinel

Figura 7.6 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2017 através do Sentinel.



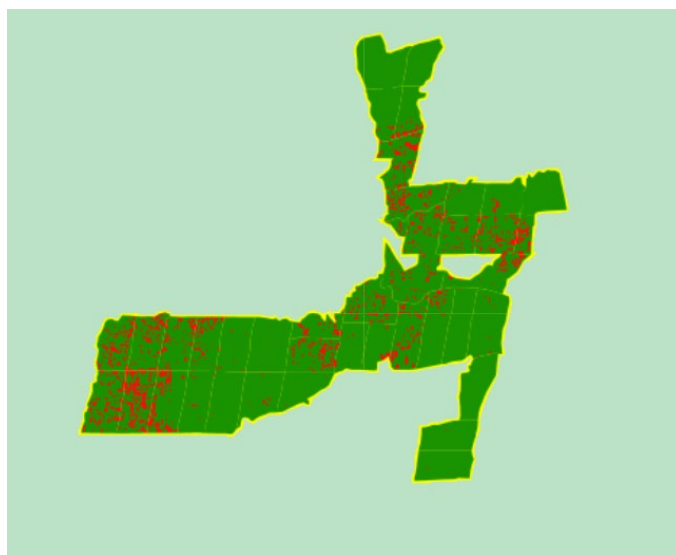
Fonte: Aatoria Própria

Figura 7.7 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2018 através do Sentinel.



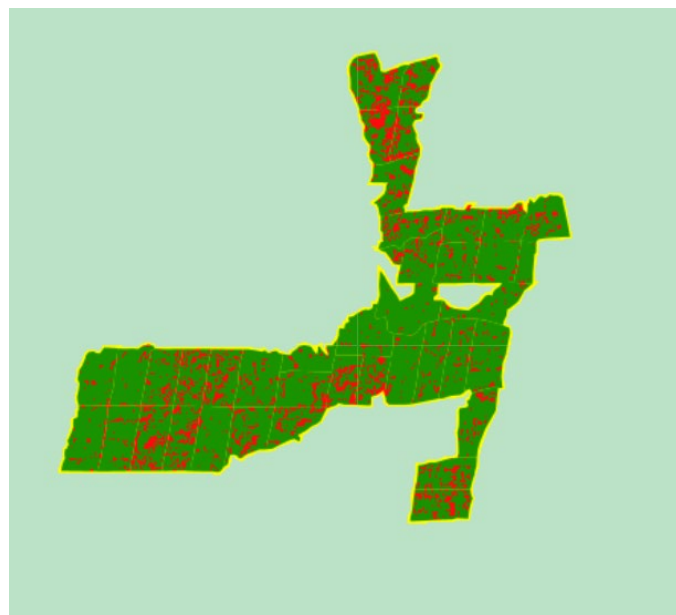
Fonte: Aatoria Própria

Figura 7.8 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2019 através do Sentinel.



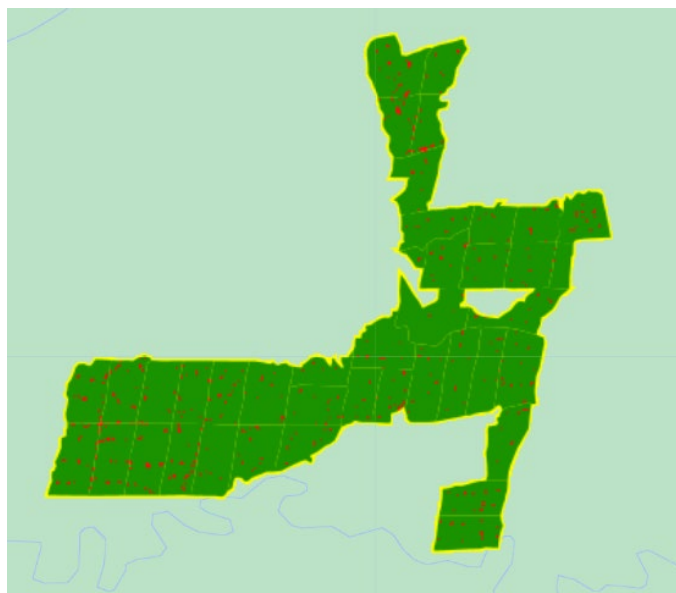
Fonte: Autorial Própria

Figura 7.9 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2020 através do Sentinel.



Fonte: Autorial Própria

Figura 7.10 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2021 através do Sentinel.

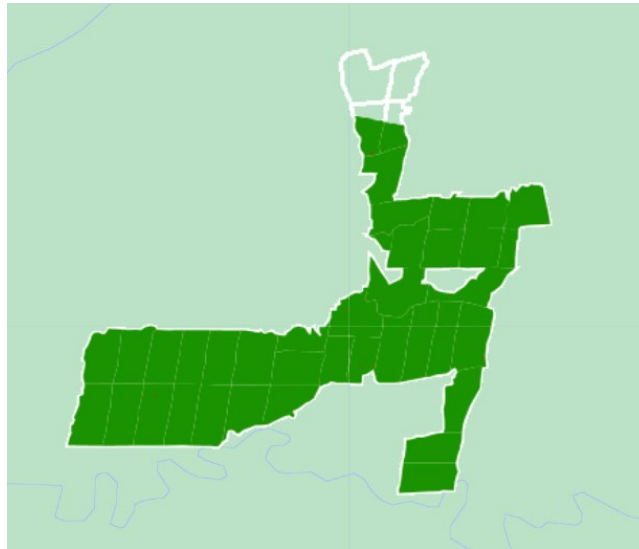


Fonte: Autorial Própria

As imagens Sentinel permitem classificar a UPA a partir do ano de 2017, ano de começo do processo de extração dentro da UPA. Nota-se que, através das indicações que essas imagens nos oferecem, o processo de extração seletiva se distribuiu ao longo de toda UPA, principalmente nos anos de 2017 e 2020. Conforme as imagens demonstradas, no período de 2017 a 2018, a prática desse fenômeno cresceu consideravelmente em todo território da UPA e, posteriormente, diminuiu no ano de 2021. As imagens indicam que o ano de 2017 foi o ano menos afetado pelo processo de extração.

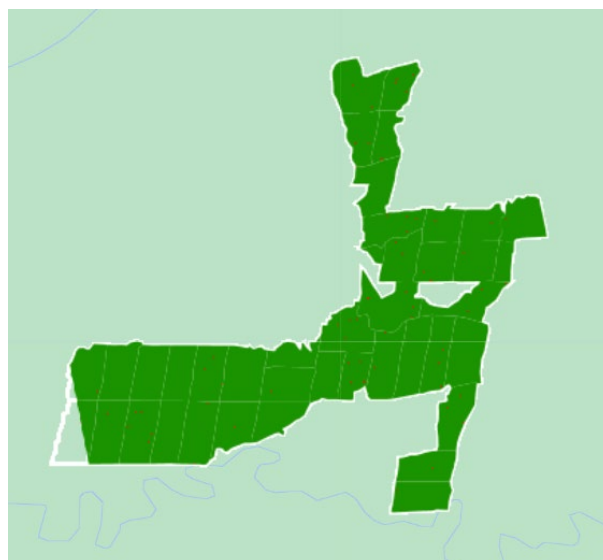
7.3 Imagens da upa 20 geradas entre os anos de 2017 e 2021 pelo satélite planet.

Figura 7.11 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2017 através do Planet.



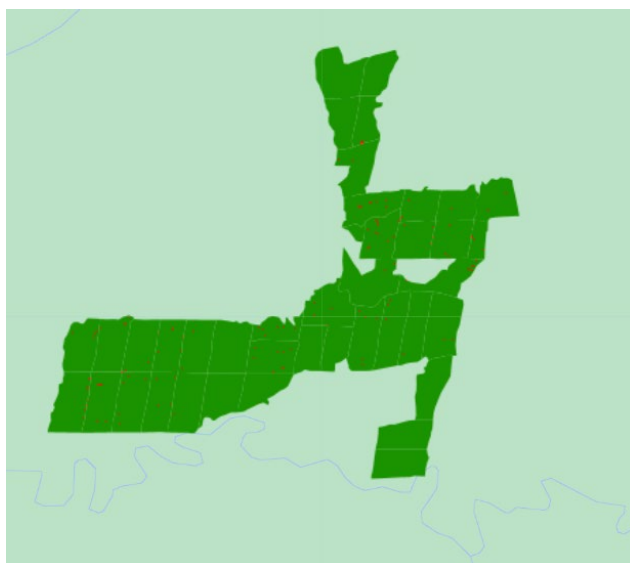
Fonte: Aatoria Própria

Figura 7.12 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2018 através do Planet.



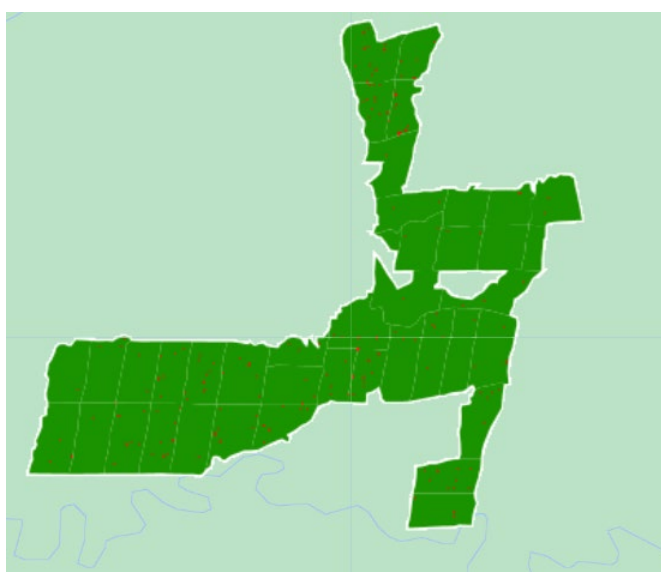
Fonte: Aatoria Própria

Figura 7.13 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2019 através do Planet.



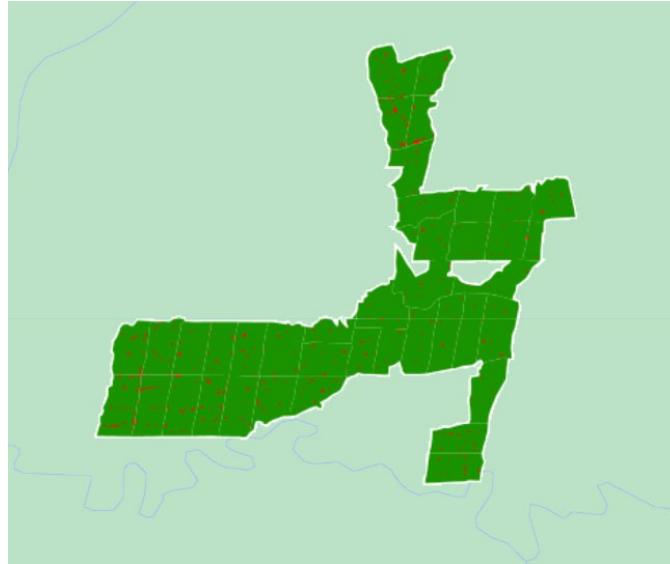
Fonte: Aatoria Própria

Figura 7.14 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2020 através do Planet.



Fonte: Aatoria Própria

Figura 7.15 – Classificação da UPA 20 para o ano de 2021 através do Planet.

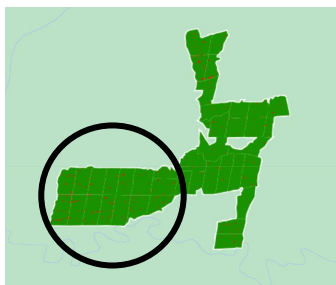


Fonte: Autorial Própria

As imagens Planet também permitiram analisar entre os anos de 2017 e 2021. Em 2017 e 2018, o satélite não conseguiu capturar a UPA por completo, faltando uma parcela de território em cada ano. Através das imagens capturadas, é possível observar que a prática de extração seletiva cresceu gradativamente ao longo dos anos e se distribuiu em toda extensão territorial da UPA.

Podemos aplicar um zoom e enxergarmos a possível área com a maior distribuição da extração no ano de 2021

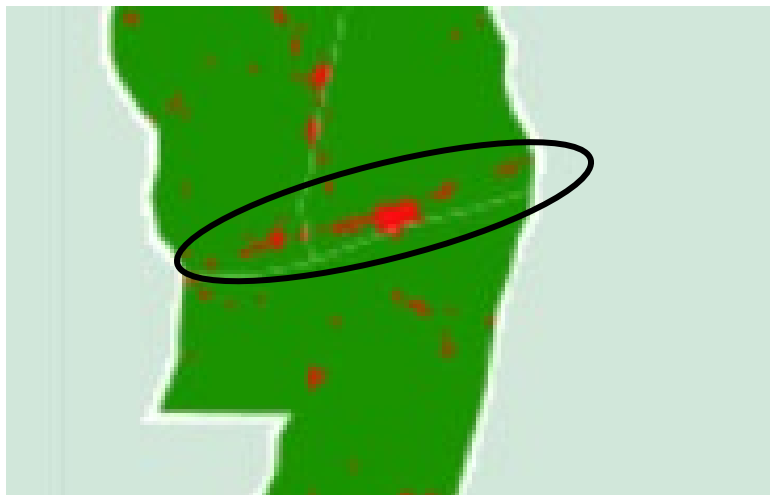
Figura 7.16 – Observação mais ampliada na área onde ocorre a maior taxa de extração.



Fonte: Autoria Própria.

Na mesma imagem, em outro setor da UPA, podemos observar a possível presença de uma estrada, conforme a seguir:

Figura 9.17 – Indício de estrada dentro da UPA



Fonte: Aatoria Própria

7.4 ESTIMATIVA DA ÁREA DE EXTRAÇÃO E ÁREA FLORESTAL

Para evidenciar as observações, é possível, através do próprio código, estipular as áreas de extração seletiva e áreas florestais dentro da UPA, assim, as indicações supracitadas, se evidenciam ou não.

7.4.1 Landsat 8

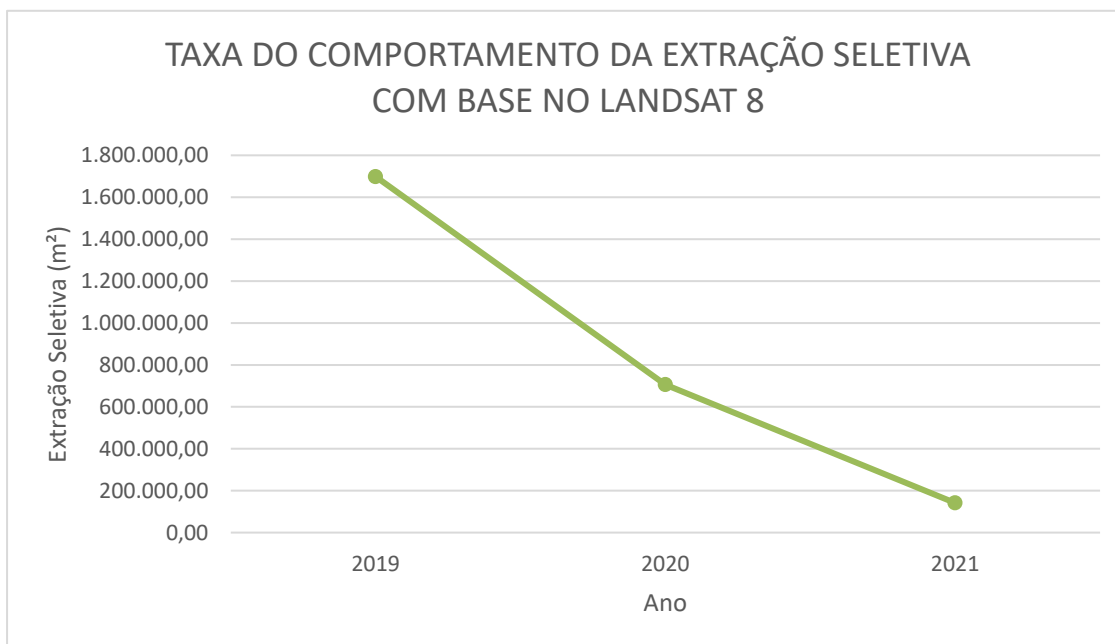
QUADRO 7.2 – Estimativas das áreas através do Landsat

ANO	ÁREA FLORESTAL (m ²)	ÁREA DE EXTRAÇÃO SELETIVA (m ²)
2019	42.177.819,24	1.698.319,75
2020	43.133.972,29	706.074,26
2021	43.698.633,91	141.412,64

Fonte: Aatoria Própria

Como observado, estima-se que, dentre os três, no ano de 2019 houve a maior taxa de extração seletiva, em contraste com o ano de 2020, no qual ocorreu a menor. Assim, as indicações que a observação das imagens sugere, se concretizam. A área Florestal é inversamente proporcional á área de extração.

Gráfico 7.1 – Comportamento da extração a partir do Landsat



Fonte: Aatoria Própria

7.4.2 Sentinel

QUADRO 7.3 – Estimativas das áreas através do Sentinel

ANO	ÁREA FLORESTAL (m²)	ÁREA DE EXTRAÇÃO SELETIVA (m²)
2017	43.837.481,84	106.338,75
2018	42.264.422,02	1.679.398,57
2019	38.575.232,86	4.356.332,82
2020	36.342.662,85	7.601.157,74
2021	42.590.630,11	1.353.190,48

Fonte: Aatoria Própria

Conforme exposto, as áreas de extração seletiva de madeira foram crescendo consideravelmente desde 2017 até 2020, onde atingiu sua maior taxa. De 2020 a 2021, ele possuiu um decréscimo considerável e possível de observar

através do imageamento mostrado na classificação no ano de 2021 a partir do Satélite Sentinel.

Gráfico 7.2 – Comportamento da extração a partir do Sentinel



Fonte: Autorial Própria

7.4.3 Planet

QUADRO 7.4 – Estimativas das áreas através do Planet

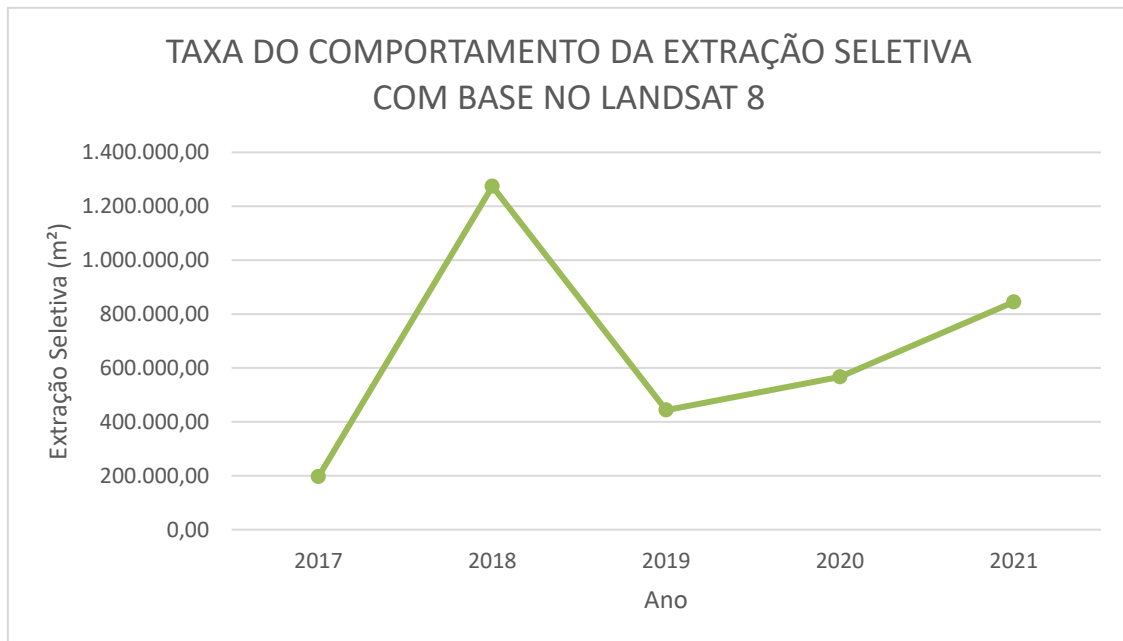
ANO	ÁREA FLORESTAL (m²)	ÁREA DE EXTRAÇÃO SELETIVA (m²)
2017	41.006.148,35	196.867,90
2018	41.787.295,33	1.273.903,62
2019	43.675.759,65	443.514,65
2020	43.552.443,44	566.830,86
2021	43.274.436,16	844.838,13

Fonte: Autorial Própria

Observa-se que, a partir da captura das Imagens por meio do Planet, a extração seletiva de madeira atingiu seu pico no ano de 2018. Observa-se também que, de 2018 a 2021, houve uma variação no crescimento da taxa da extração

seletiva, no período de 2018 a 2019 ele diminuiu, e no período de 2019 ele aumentou gradativamente.

Gráfico 7.3 – Comportamento da extração a partir do Planet



Fonte: Autoria Própria

8 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi possível averiguar que as imagens Planet se destacam devido a sua maior resolução espacial (4 metros), quando comparada às resoluções do Landsat e Sentinel, 10 e 30 metros respectivamente. Com esse tipo de imagem foi possível identificar as áreas de extração seletiva, porém por apresentarem um número menor de bandas, a identificação de áreas impactadas pela extração limita-se a áreas com uma abertura de dossel mais expressiva. Apesar disso, os três mostraram eficácia para o monitoramento e cobertura do uso do solo na área de estudo.

Já o satélite Landsat, permitiu a identificação das áreas de extração seletiva, porém com áreas reduzidas devido a sua resolução espacial, dificultando assim a identificação da extração no seu estágio inicial e na progressão ao longo dos anos.

As imagens do satélite Sentinel foram as que melhor representaram a extração seletiva de madeira em relação a sua área de impacto, foi possível identificar o raio de impacto causado pela degradação desse tipo de atividade desde o ano inicial de exploração.

Foi possível estimar a taxa de impacto da extração seletiva ano a ano, permitindo que se construa uma noção mais detalhada de seus impactos em áreas florestais e comprovando sua diminuição de danos quando comparada aos métodos convencionais de exploração. As imagens Landsat só foram capturadas a partir do ano de 2019 devido as imagens capturadas em anos anteriores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. P. D. et al. Land use change emission scenarios: Anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, v.22, p.1821-1840, mai. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.13134>. Acesso em: 17 jun. 2023. Acesso em: 17 jul. 2023

ASNER, G. P. et al. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*, v.310, n. 480, p.480–482, out. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1118051>. Acesso em: 3 jun. 2023.

BERENQUER, E. et al. Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.118, n. 30, p. 1-8, mai. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.201937711>. Acesso em: 1 jun. 2023.

BOMFIM, S. L. et al. Índice de clima econômico para concessões florestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 10, p. 331-342, jun. 2016. Disponível em: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n110.06](https://doi.org/10.18671/scifor.v44n110.06). Acesso em: 17 abri. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.651/2012, de 25 de maio de 2012. Institui o Código Civil. **Diário Oficial da União**. Seção 1, Brasília, DF.

BURNETT, C.; BLASCHKE, T. A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis. **Ecological Modelling**, v.168, p.233-249, out. 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00139-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00139-X). Acesso em: 17 jul. 2023

CELENTANO, D. et al. Desmatamento, degradação e violência no “Mosaico Gurupi” - A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**. São Paulo, v.32, n.92, p.315-339, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/FWCqjflCzcwQGdjn5bRkBrS/> Acesso em: 21 abri. 2023.

CEMIN, G. Utilização do sensoriamento remoto para a caracterização e discriminação espectral de vinhedos em diferentes territórios. 2009. Dissertação (Pós-graduação em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CHADDAD, F. The Economics and Organization of Brazilian Agriculture: Recent Evolution and Productivity Gains. London: **Elsevier Science**, 2016.

CHEN, C. et al. China and India lead in greening of the world through land-use management. **Nature Sustainability**, Copenhagen, v.2, n.2, p.122-129, 2019. Disponível em: [https://ign.ku.dk/english/employees/geography/?pure=en%2Fpublications%2Fchina-and-india-lead-in-greening-of-the-world-through-landuse-management\(33340ea0-a8c8-4dd8-a5a4-328d0c148307\)%2Fexport.html](https://ign.ku.dk/english/employees/geography/?pure=en%2Fpublications%2Fchina-and-india-lead-in-greening-of-the-world-through-landuse-management(33340ea0-a8c8-4dd8-a5a4-328d0c148307)%2Fexport.html).

Acesso em: 22 abri. 2023.

COCHRANE, M.A. et al. Positive Feedbacks in the Fire Dynamic of Closed Canopy Tropical Forests. **Science**, v.284, p.1832-1835, jun. 1999. Disponível em: DOI: 10.1126/science.284.5421.183. 22 abri. 2023.

CONDÉ, T. M.; HIGUCHI, N.; LIMA, A. J. N. Illegal selective logging and forest fires in the northern Brazilian Amazon. **Forests**, v.10, n.1, 2019. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/15533>. Acesso em: 13 mai. 2023

Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 029, de 07 de dezembro de 1994. Brasília, 1994. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0029-071294.PDF>.

Acesso em: (ATENÇÃO: COLOCAR O ANO NA CITAÇÃO DO TEXTO!!!)

COSTA, J. F. V.; ALVES, N. S. M. Os recursos estratégicos da Amazônia brasileira e a cobiça internacional. **Revista Perspect**. Porto Alegre, v.11, n.20, p.65–86, 2018. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/RevistaPerspectiva/article/view/80679/49885>

Acesso em: 15 abri. 2023

DANTAS, A.T. et al. 2017. Brazil - Poland Focus on Environment. **University of Warsaw : Rio de Janeiro State University**, Warsaw; Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, R. D. S., GOMES, S. C., CABRAL, E. R. (2017) **Da condição de município “Marrom” a município “Verde”: o caso de Paragominas–PA**. Revista de Administração e Negócios da Amazônia, 4(2), 122-139. Acesso em: 30 abri. 2023

DING, Y. et al. The impacts of selective logging and clear-cutting on wood plant diversity after 40 years of natural recovery in a tropical montane rain forest, South China. **Science of the Total Environment**, Oxoford, v.579, p.1683-1691, Fev. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716326511>
Acesso em: 15 abri. 2023

DRI, G. F. O impacto da fragmentação e perda de habitat na diversidade de aves em ambientes urbanos. Orientador: Dr. Cristian de Sales Dambros. Dissertação – Curso de Biodiversidade Animal, Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/21564/DIS_PPGBA_2020_DRI_GABRIELA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

EMBRAPA. Landsat – Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>

EMBRAPA. Sentinel – Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>

ESCOBAR, H. Amazon fires clearly linked to deforestation, scientists say. **Science**, Washington, v.365, n.6456, p.853, Ago. 2019. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.365.6456.853>. Acesso em: 15 abri. 2023.

FAO. **World food and agriculture statistical pocketbook**. Rome: FAO Statistics, 2018.

GHAZOUL, J.; CHAZDON, R. Degradation and Recovery in Changing Forest Landscapes: A Multiscale Conceptual Framework. **Annual Review of Environment and Resources**, v.42, p.161–188, jul. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060736>. Acesso em: 25 mai. 2023.

GOETZ, S.J. et al. Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: a comparison of methods. **Carbon Balance Manag**, v.4, n.2, mar. 2009. Disponível em:

<https://cbmjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1750-0680-4-2>. Acesso em: 11 mai. 2023.

GOLERICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**. Amsterdã, v.202, p.18-27, Dez. 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/Cliente/Desktop/1-s2.0-S0034425717302900-main.pdf> Acesso em: 20 mai. 2023.

GOODMAN, R. C. et al. Carbon emissions and potential emissions reductions from low-intensity selective logging in southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**. Amsterdã, v.439, n.1, p.18-27, Mai. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112718321510?via%3Dihub> Acesso em: 30 abri. 2023

GRECCHI, R. C. et al. An integrated remote sensing and GIS approach for monitoring areas affected by selective logging: a case study in northern Mato Grosso, Brazilian Amazon. **International Journal of Obs Geoinformation**. Amsterdam, v. 61, p. 70-80, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243417300971> Acesso em: 10 abri. 2023

HADDAD, N. et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's Ecosystems. **Science Advances**, Flórida, v.1, n.2, p.9, Mar. 2015. Disponível em: <file:///D:/Downloads/Haddadetal2015Habitatfragmentationanditslastingimpact.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Cidades. Censo. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acessado em: 29 de julho de 2023.

IBGE, 2018a. Produção Agrícola Municipal - Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura temporária (No. Tabela 1612).

IBGE, 2018b. Pesquisa Pecuária Municipal - Tabela 73 - Efetivo dos rebanhos por tipo de rebanho (No. Tabela 73). IBGE.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES). São Paulo, 2022. Disponível em:

<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em:

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manuais técnicos em Geociências/ Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro, 1992. p. 16.

JOHNS, J. S.; BARRETO, P.; UHL, C. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**. Amsterdã, v.89, n.1-3, p.59-77, 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112796038698>

Acesso em: 30 abri. 2023

KOPPEN, W., GEIGER, G. (2019). Classificação climática de Köppen-Geiger. Acesso em 29 de julho de 2023. Disponível em:

<https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>. Acesso em: 30 jul. 2023

LALIBERTE, A. S. et al. An object based image analysis approach for determining fractional cover of senescent and green vegetation with digital plot photography. **Journal of Arid Environments**, Amsterdã, v.69, p.1–14, Nov. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.016>. Acesso em: 6 abr. 2023.

LEITE-FILHO, A.T et al. Effects of deforestation on the onset of the rainy season and the duration of dry spells in Southern Amazonia. **JGR Atmospheres**, v.124, n.10, p.5268–5281, 2019. Disponível em:

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018JD029537>. Acesso em: 30 jul. 2023

LONTSI, R. T. et al. Changes in soil organic carbon and nutrient stocks in conventional selective logging versus reduced-impact logging in rainforests on highly weathered soils in Southern Cameroon. **Forest Ecology and Management**. Amsterdã, v.451, Nov. 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112719308898?via%3Dihub#preview-section-abstract>. Acesso em: 5 jul. 2023

LUNETTA, R. S. et al. Impacts of vegetation dynamics on the identification of land-cover change in a biologically complex community in North Carolina, USA. **Remote Sensing of Environmet**, Amsterdã, v.82, n.2-3, p.258–270, Out. 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223927517_Impacts_of_vegetation_dynamics_on_the_identification_of_landcover_change_in_a_biologically_complex_community_in_North_Carolina_USA. Acesso em: 15 abr. 2023.

MACIEL, M. de N. et al. Uso de imagens orbitais na estimativa de parâmetros estruturais de uma floresta primária no município de Paragominas, Estado do Pará. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, n. 52, p. 159-178, jul./dez. 2009.

MAHMOOD, R. et al. Land cover changes and their biogeophysical effects on climate: land cover changes and their biogeophysical effects on climate. **International Journal Climatology**. Estados Unidos, v.34, n.4, p.929–953, 2014. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.3736>. Acesso em: 5 jul. 2023.

MARQUES, W.; SILVA J. (2012) Unidades de conservação no bioma amazônico e a perícia ambiental. 7 Mostra de Produção Científica da Pós-Graduação Lato Sensu da PUC Goiás. Available in <http://www.cpgls.pucgoias.edu.br/7mostra/Artigos1c.html>. Acesso em: 5 jul. 2023.

MATRICARDI, E. A. T. et al. Assessment of forest disturbances by selective logging and forest fires in the Brazilian Amazon using Landsat data. **International Journal of Remote Sensing**. Michigan, v.34, n.4, p.1057-1086. Fev. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/258791478_Assessment_of_forest_disturbances_by_selective_logging_and_forest_fires_in_the_Brazilian_Amazon_using_Landsat_data#fullTextFileContent. Acesso em: 5 jul. 2023

MATRICARDI, E. A. T. et al. Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, Nova Iorque, v.369, n.6509,

p.1378-1382, set. 2020. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abb3021>. Acesso em: 14 mai. 2023.

MEDEIROS, R.; YOUNG, C.E.F. Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional. UNEP-WCMC, Brasília, 120p. 2011. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/13407/1/RMedeiros.CEFYoung.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2023.

NETO, G. G. Ribeiro, et al. Attributing the 2015/2016 Amazon basin drought to anthropogenic influence. **Climate Resilience and Sustainability**, v.1, p. 1-10, out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cli2.25>. Acesso em: 1 jun. 2023.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. **INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO**. INPE, São José dos Campos, 2001. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf. Acesso em: 5 jul. 2023.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2019. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/en>. Acesso em: 4 abril. 2023.

PUTZ, F. E. et al. Reduced-impact logging: Challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v.256, n.7, p.1427-1433. Set. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112708002892>. Acesso em: 4 abr. 2023.

PUTZ, F. E. et al. Sustaining conservation values in selectively logged tropical forests: the attained and the attainable. **Conservation Letters**. Flórida, v.5, n.4, p.296–303, 2012. Disponível em: <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1755-263X.2012.00242.x> Acesso em: 4 abr. 2023.

RICHARDS, P. et al. Soybean development: the impact of a decade of agricultural change on urban and economic growth in Mato Grosso, Brazil. **Plos One**.

Estados Unidos, v.10, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122510>. Acesso em: 14 abr. 2023.

RODRIGUES, T. E. et al. Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Pará. Belém, 2003: (Embrapa Amazônia Oriental. Documento, 162),

RUTISHAUSER, E. et al. Rapid tree carbon stock recovery in managed Amazonian forests. **Current Biology**, v.25, p.787-788, out. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.07.034>. Acesso em: 6 jun. 2023. (28)

RYHERD, S.; WOODCOCK, C. Combining spectral and texture data in segmentation of remotely sensed images. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Maryland, v.62, n.2, p.181-194, Feb. 1996. Disponível em: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1996journal/feb/1996_feb_181-194.pdf. Acesso em: 6 abr. 2013.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. 1. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

Sant'anna, A.A. Land inequality and deforestation in the Brazilian Amazon. **Environment and Development Economics**. Estados Unidos, v.22, n.1, p.1–25, 2017. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/A8D4274AD3E8AA3C6FABB4DB2C6F9873/S1355770X1600022Xa.pdf/land-inequality-and-deforestation-in-the-brazilian-amazon.pdf>.

Acesso em: 14 abr. 2023.

SAUER, S. Soy expansion into the agricultural frontiers of the Brazilian Amazon: the agribusiness economy and its social and environmental conflicts. **Land Use Policy**, Amesterdã, v.79, p.326-338, Dez. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837718300863>.

Acesso em: 28 mar. 2023.

SHIMABUKURO, Y.E.; NOVO, E.M.; Mertes, L.K. Mosaico digital de imagens Landsat-TM da planície do Rio Solimões-Amazonas no Brasil. INPE-6746-RPQ/681. 1998.

SILVA, R. das C. Contribuição de levantamento de solo a caracterização dos sistemas naturais e ambientais na região de Paragominas – Estado do Pará. 1997. 107 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1997.

SILVÉRIO, D.V. et al. Agricultural expansion dominates climate changes in southeastern Amazonia: the overlooked non-GHG forcing. **Environmental Research Letters**. Estados Unidos, v.10, n.10, 2015. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/10/104015/pdf>. Acesso em: 29 mar. 2023.

TRITSCH, I. et al. Multiple patterns of forest disturbance and logging shape forest landscape in Paragominas, Brasil. **Forests**. Basel, v.7, n.12, p.315, 2016. Disponível em: <file:///D:/Downloads/forests-07-00315.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.

WATRIN, O. dos S.; ROCHA, A. M. A. Levantamento da vegetação natural e do uso da terra no município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/LANDSAT. Belém: Embrapa-CPATU. (Embrapa - CPATU. Boletim de Pesquisa, 124). 1992. 40 p.

WITHEY, K. et al. Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v.373, out. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0312>. Acesso em: 3 jun. 2023.

ZHURAVLEVA, I. et al. Satellite-based primary forest degradation assessment in the Democratic Republic of the Congo, 2000–2010. **Environmental Research Letters**. Bristol, v.8, n.2, 2013. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/2/024034/meta> Acesso em: