



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DO FOGO
NO MUNICÍPIO DE ARIPUANÃ-MT
USANDO DADOS DE SENSORES REMOTOS**

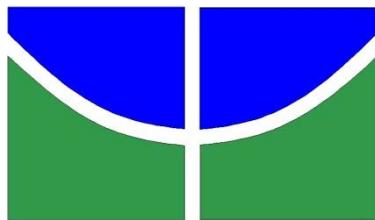
ANDRESSA LUANA MARINHO DA COSTA VALENTIM

Brasília, 22 de outubro de 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

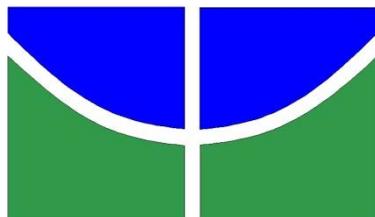
**ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DO FOGO
NO MUNICÍPIO DE ARIPUANÃ-MT
USANDO DADOS DE SENSORES REMOTOS**

Andressa Luana Marinho da Costa Valentim

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Eraldo A. T. Matricardi

Brasília-DF, 22 de outubro de 2021.



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

**ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DO FOGO
NO MUNICÍPIO DE ARIPUANÃ-MT
USANDO DADOS DE SENSORES REMOTOS**

Estudante: Andressa Luana Marinho da Costa Valentim
Matrícula: 14/0167595
Orientador: Prof. Dr. Eraldo A. T. Matricardi

Menção: _____

Prof. Dr. Eraldo A. T. Matricardi
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador (EFL)

Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Membro da Banca

Mestre Guido Briceño Castillo
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

Brasília-DF, 22 de outubro de 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

VA561a	Valentim, Andressa Luana Marinho da Costa Análise da Ocorrência do fogo no município de Aripuanã MT, usando dados de sensores remotos. / Andressa Luana Marinho da Costa Valentim; orientador Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi. -- Brasília, 2021. 56 p. Monografia (Graduação - Engenharia Florestal) -- Universidade de Brasília, 2021. 1. Bioma Amazônia. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Queimadas. 4. Acurácia. 5. Sentinel-2. I. Aparecido Trondoli Matricardi, Eraldo, orient. II. Título.
--------	---

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Valentim, A. L. M. C. (2021). **Análise da Ocorrência do fogo no município de Aripuanã-MT, usando dados de sensores remotos.** Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 56 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Andressa Luana Marinho da Costa Valentim

TÍTULO: *Análise da Ocorrência do fogo no município de Aripuanã-MT, usando dados de sensores remotos.*

GRAU: Engenheira Florestal ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Andressa Luana Marinho da Costa Valentim
adressamvalentim@gmail.com

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.

Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”

- Madre Teresa de Calcutá.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus e a minha família por todo apoio, amor incondicional e por acreditarem no meu potencial em todos esses anos. Em especial, agradeço a minha mãe por toda dedicação, amor, carinho e por fazer parte de todos os momentos importantes da minha vida. Sem ela, eu não teria chegado onde cheguei. Minha mãe é meu exemplo de mulher e de força. Agradeço infinitamente ao meu irmão André, que além de meu irmão, é também meu melhor amigo, por sempre estar ao meu lado, me ensinando, me apoiando e vibrando por cada conquista minha.

Agradeço ao meu namorado Tales, por sempre acreditar em mim e nos meus sonhos, por me apoiar em cada decisão da minha vida e ter me dado suporte todo esse tempo juntos. Nessa etapa final, seu apoio foi fundamental. Obrigada por acreditar no meu potencial e ser esse namorado incrível.

Agradeço as minhas amigas de vida, que me acompanham há 13 anos, Fernanda, Iara e Luiza. Vocês foram essenciais em todas as etapas da minha vida, e nessa, não seria diferente. Agradeço também as minhas amigas de graduação, Thais, Fernanda, Luiza e Maria Eduarda, por me acompanharem nessa trajetória, sempre me ajudando e me dando apoio em todas as dificuldades que enfrentei durante esses anos. Todos os semestres na Universidade foram mais leves com vocês.

Agradeço o meu orientador, Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi, pela disponibilidade para me auxiliar nesse trabalho final. Sempre solícito, atencioso e profissional. Foi uma honra fazer esse trabalho com sua tutoria. Agradeço ao Mestre Guido Briceño, pela disponibilidade, atenção e paciência para dividir seu conhecimento e me ajudar a realizar algumas etapas desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos os amigos e familiares que, de alguma forma, estiveram presentes e me apoiaram durante os anos de graduação, e a todos os professores que fizeram parte desse processo de aprendizado. Muito obrigada!

RESUMO

ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DO FOGO NO MUNICÍPIO DE ARIPUANÃ-MT USANDO DADOS DE SENSORES REMOTOS

A Amazônia abrange 58,7% do território brasileiro, um total de 4.105,450 km², distribuídos entre os estados do Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Rondônia, Maranhão e a parte Norte e Noroeste do Mato Grosso. Além de sua grande extensão territorial, o bioma Amazônia possui a maior biodiversidade de floresta tropical do mundo, com alta biodiversidade e recursos naturais, sendo considerado um dos mais importantes biomas brasileiros. O bioma Amazônia apresenta um papel fundamental para a prestação de serviços ecossistêmicos de grande importância na regulação climática em níveis regional e global. No entanto, o bioma vem sendo impactado severamente pelo desmatamento, fogo e extração seletiva de madeiras nas últimas décadas. O estado de Mato Grosso lidera o *ranking* de desmatamento e de focos de calor no país, registrando o maior número de incêndios na floresta Amazônica e, por ser uma área de grande extensão territorial e, muitas vezes, de difícil acesso, o monitoramento e a prevenção da ocorrência e propagação do fogo têm que ser feitos por meio do sensoriamento remoto, para a localização e quantificação dessas áreas queimadas. Neste trabalho, foi feita a análise espaço-temporal das áreas atingidas por fogo no município de Aripuanã, localizado no Noroeste do estado de Mato Grosso, entre os meses de junho a outubro de 2020. Esta região é conhecida pela intensa expansão agrícola e extração de madeiras nativas, formando a base econômica da região de Aripuanã, que envolve outros 10 municípios das regiões Norte e Noroeste do Mato Grosso. Neste estudo, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat-8 e Sentinel-2 e dados do produto MODIS64A1, comparando-os e utilizando o de maior acurácia para detecção de áreas atingidas por fogo. Os resultados deste estudo indicaram que a classificação de Sentinel-2 apresentou a maior acurácia (98,7%), a classificação usando imagens do satélite Landsat-8 apresentou 91,4% de acurácia, enquanto o produto MODIS-MCD64A1 apresentou acurácia de 68% para detecção de áreas atingidas por fogo. As áreas queimadas aumentaram 445% ao longo do período de estudo, passando de 156 km² em junho para 695 km² em outubro de 2020, que coincide com o período sazonal de redução anual da precipitação na estação seca.

Palavras-chave: Incêndios florestais, Landsat-8, Sentinel-2, produto MCD64A1.

ABSTRACT

ANALYSIS OF FIRE EVENTS THE ARIPUANÃ MUNICIPALITY -MT USING REMOTE SENSING DATA

The Amazon covers 58.7% of the Brazilian territory, a total of 4,105,450 km², distributed among the states of Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Rondônia, Maranhão and the Northern and Northwestern parts of Mato Grosso. In addition to its large territorial extension, the Amazon biome has the largest tropical forest biodiversity in the world, with high biodiversity and natural resources, being considered one of the most important Brazilian biomes. The Amazon biome plays a fundamental role in providing ecosystem services of great importance in climate regulation at regional and global scales. However, the biome has been severely impacted by deforestation, fire and selective logging in recent decades. The state of Mato Grosso leads the ranking of deforestation and fire hotspots in the country, recording the largest number of fires in the Amazon Forest and, being an area of large territorial extension and remote areas, where monitoring and prevention of fire occurrence and propagation must be conducted by using remotely sensed data and techniques for the location and quantification of those burnt areas. In this study, I conducted a spatiotemporal analysis of the areas affected by fires in the municipality of Aripuanã, located in the northwest of the state of Mato Grosso, between June and October 2020. This region is known for its agricultural expansion and selective logging activities, which are the main economic bases of Aripuanã among 10 other municipalities in the north and northwest of Mato Grosso. In this study, I applied Landsat-8 and Sentinel-2 imagery and MODIS64A1 dataset, compared them, and used the most accurate to detect areas affected by fires. Based on this study results, the Sentinel-2 classification showed the highest accuracy (98.7%), the classification using Landsat-8 satellite images showed 91.4% accuracy, while the MODIS-MCD64A1 product showed 68% accuracy for detecting areas affected by fires. Burnt areas increased 445% over the study period, from 156 km² in June to 695 km² in October 2020, which coincides with the seasonal decrease of rainfall during the annual dry season.

Keywords: Forest fires, Landsat-8, Sentinel-2, MCD64A1 product.

SUMÁRIO

2	INTRODUÇÃO.....	1
3	PROBLEMA E QUESTÕES DE PESQUISA	4
4	OBJETIVOS	5
4.1	Objetivo geral	5
4.2	Objetivos específicos.....	5
5	REVISÃO DE LITERATURA	6
5.1	Utilização do Sensoriamento Remoto como ferramenta para análise de queimadas.	6
5.2	MapBiomias.....	7
5.3	Plataforma Google Earth Engine.....	8
5.4	Sentinel-2.....	10
5.5	Landsat-8	11
5.6	MODIS 64A1	13
5.7	Incêndios Florestais na Amazônia.....	14
5.7.1	Bioma Amazônia.....	14
5.7.2	Incêndios na Amazônia.....	15
5.7.3	Incêndios no Noroeste do Mato Grosso.....	16
6	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
6.1	Caracterização da área de estudo.....	18
6.2	Base de dados	19
6.2.1	Diagnóstico das queimadas utilizando a plataforma <i>Google Earth Engine</i>	19
6.2.2	Landsat 8	20
6.2.3	Sentinel-2	1
6.2.4	MODIS 64A1	3
6.2.5	MapBiomias	3
6.3	Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI).....	4
6.4	Acurácia.....	5
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
7.1	Acurácia dos valores das queimadas	7
7.2	Diagnóstico de queimadas de Junho a Outubro de 2020.....	8
7.3	Análise de persistência das queimadas	15
7.4	Análise de uso e cobertura do solo atingidos pelo fogo.	15
8	CONCLUSÃO.....	17
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os dez municípios com maior número de focos de calor no estado do Mato Grosso.	17
Figura 2 – Localização da área de estudo no Noroeste do estado do Mato Grosso. ...	19
Figura 3 - Plataforma Code Editor do Google Earth Engine e suas principais funcionalidades.	20
Figura 4 - Imagem Landsat-8 com combinação RGB das bandas 5,6 e 4.....	1
Figura 5 - Imagem Sentinel 2 com combinação RGB das bandas 11, 8A e 4.....	2
Figura 6 - Imagem MapBiomas com combinação de cores da classificação do MapBiomas 2020.....	3
Figura 7 – Pontos aleatórios utilizados para o cálculo da acurácia das classificações das áreas atingidas por fogo na plataforma GEE.	6
Figura 8 - Acurácia dos valores de queimadas dos satélites Landsat 8, Sentinel 2 e produto MODIS 64A1.	7
Figura 9 - A) Localização das áreas queimadas no mês de junho. B) Localização das áreas queimadas no mês de julho. C) Localização das áreas queimadas no mês de agosto. D) Localização das áreas queimadas no mês de setembro. E) Localização das áreas queimadas no mês outubro.	9
Figura 10 - Área total queimada nos períodos de junho a outubro – Landsat 8.	10
Figura 11 - Área total queimada nos períodos de junho a outubro - Sentinel 2.	11
Figura 12 - Área total queimada nos períodos de junho a outubro – Produto MODIS 64A1	11
Figura 13 – A) Imagem do aumento do índice PDSI (Índice de Severidade de Seca de Palmer) do mês de junho. B) Imagem do aumento do índice PDSI do mês de julho. C) Imagem do aumento do índice PDSI do mês de agosto. D) Imagem do aumento do índice PDSI do mês de setembro. E) Imagem do aumento do índice PDSI do mês de outubro de 2020.....	13
Figura 14 - Índice de severidade de Palmer (PDSI) para o período de junho a outubro de 2020.....	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do Satélite Sentinel-2	10
Tabela 2 - Características Landsat 8.	12
Tabela 3 - Descrição das bandas utilizadas no Landsat -8.....	12
Tabela 4 – Resolução espectral, espacial, temporal e radiométrica do Landsat-8.....	1
Tabela 5 – Comprimento de onda e combinações de bandas do Sentinel-2.....	2
Tabela 6 - Classes de cobertura e uso do solo classificação MapBiomas	4
Tabela 7 - Classificação do índice PDSI para eventos de seca extrema e umidade extrema.	5
Tabela 8 - Persistência das áreas atingidas por fogo na paisagem no período (junho a outubro de 2020) e área de estudo (município de Aripuanã-MT).	15
Tabela 9 - Classes de uso e cobertura da terra atingidas por fogo no município de Aripuanã-MT, em 2020.	16

1 INTRODUÇÃO

O Brasil envolve 65,7% da bacia amazônica, sendo que 58,7% do Brasil é Amazônia. O bioma Amazônico localiza-se na bacia Amazônica, situa-se ao sul do Planalto das Guianas, a Norte do Planalto Central, a leste da Cordilheira dos Andes e a Oeste do Oceano Atlântico, drenando, além do Brasil, terras de oito países sul-americanos e totalizando uma área de 6.500.000 km² (DIEGUES, 2002). Cerca de 4 milhões de quilômetros quadrados se encontra no Brasil distribuídos entre os estados do Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Maranhão e Rondônia (Região Norte) e a porção Norte e Noroeste do estado de Mato Grosso (Região Centro-Oeste), representando 48% do território nacional (IBGE,1997).

Estima-se que a Amazônia brasileira possui a maior riqueza de espécies vegetais e animais, aproximadamente 15% dos 1,5 milhões de espécies já catalogadas existentes no planeta. São cerca de 22% das espécies de plantas com semente, 10% das espécies de mamíferos, 17% das aves, 15% dos anfíbios, 10% de todas as espécies de peixes (JOLLY; BICUDO, 1998). E por apresentar essa enorme biodiversidade, o bioma amazônico exerce um papel muito importante para a manutenção e a existência da nossa espécie.

Considerada a maior floresta tropical do mundo, a Floresta Amazônica está altamente ameaçada pelas ações do homem, principalmente por causa da extração ilegal de madeira, desflorestamento, avanço da agricultura e queimadas. As paisagens tropicais estão sendo radicalmente transformadas devido à atividade humana, criando um mosaico de florestas exploradas, campos de cultura, e florestas secundárias (UHL; KAUFFMAN, 1990).

Na substituição ou no manejo de áreas florestadas, o fogo é usado como ferramenta cultural e tradicional da prática agrícola por uma grande variedade de grupos étnicos (GOLDAMMER, 1988). Com isso a ocorrência dos incêndios florestais frequentes na Amazônia está associada, a mudança no uso e cobertura do solo e os eventos de seca extrema, que tornam as florestas temporariamente inflamáveis, ocasionando a potencialização do fogo, que pode se tornar incontrolável e acabar provocando incêndios de larga escala.

Os incêndios florestais estão entre os maiores fatores de alteração dos ecossistemas ao nível global. Eles são uma das principais formas de destruição da vegetação, ameaça à biodiversidade, causando fragilização de ecossistemas, infertilidade do solo, produção de gases nocivos à saúde humana diminuição de visibilidade atmosférica (BARBOSA *et al.*, 1999; UYS *et al.*, 2004). De acordo com Andreae e Merlet (2001) em uma escala global, cerca de 90% das

queimadas são de origem antrópica, com os 10% restantes relacionados a acidentes ou causas naturais, como raios.

Nas últimas décadas os incêndios florestais atingiram milhares de hectares de floresta na Amazônia, sendo responsáveis pela emissão de grandes quantidades de carbono para a atmosfera e por perdas no estoque de biomassa (BARBOSA E FEARNSSIDE, 1999; VASCONCELOS *et al.*, 2013; FONSECA *et al.*, 2017). Um aumento na ocorrência dos incêndios na Amazônia agravaria ainda mais o cenário e comprometeria políticas que buscam reduzir a contribuição antrópica sobre a mudança no clima (ARAGÃO E SHIMABUKURO, 2010; SILVESTRINI *et al.*, 2011).

Entre os estados da Amazônia Legal, o Mato Grosso possui uma das mais altas taxas de desmatamento e detecção de focos de incêndios. De acordo com dados do PRODES, entre 2014 e 2015, o Mato Grosso teve um aumento de 49% de desmatamento. E segundo Anderson *et al.* (2015) 96.855 km² foram queimados no Mato Grosso em 2010, correspondendo a 10,77% da área total do estado. Apesar de sua área representar apenas 10% do território brasileiro, Mato Grosso lidera o *ranking* de queimadas, chegando a 22% das áreas queimadas do Brasil entre os anos de 2000 e 2019. Com o aumento das queimadas no ano de 2019, 2020 também seguiu com o aumento de focos de calor. De acordo com INPE (2005), entre janeiro e novembro foram detectados mais de 47 mil focos de calor no estado do Mato Grosso.

As pesquisas usando produtos de sensoriamento remoto para o monitoramento de áreas queimadas teve início nos anos 80, com o trabalho técnico para delinear a representação global do número de focos de calor (*hot spots*) e da área queimada. (MOUILLOT *et al.*, 2014). Os produtos da global de áreas queimadas são projetados para capturar mudanças abruptas entre reflectâncias pré e pós-fogo que são causadas pelo efeito de alteração da queima da biomassa e do depósito de carvão e cinzas no solo (FORNACCA, 2017). De acordo com Mouillot *et al.* (2014), estes produtos ou algoritmos foram desenvolvidos inicialmente para estudos climáticos, contudo com o passar do tempo passaram a ser utilizados por diversos ramos da ciência e por gestores ambientais.

A detecção de fogo a partir de sensoriamento remoto, em geral, é realizada de duas formas específicas. A primeira se utiliza do padrão térmico dos alvos para detectar anomalias térmicas, como por exemplo o fogo ativo. A observação é realizada por sensores capazes de obter informações nos canais espectrais do infravermelho médio e termal (SAN-MIGUEL-AYANZ *et al.*, 2005). A segunda tem o objetivo de mapear as cicatrizes de queimadas, e é realizada levando-se em conta as alterações espectrais da vegetação, principalmente nos canais

do visível e infravermelho próximo, relacionadas ao total de cinzas e carvão, solo exposto e à recuperação da vegetação (PEREIRA, 2003; GITAS *et al.*, 2012).

Estão disponíveis diversos satélites na órbita da Terra e o que os diferenciam são os sensores com diferentes resoluções temporais e espaciais. Esses sensores estão capacitados para imageamento e detecção de focos de calor e possibilitam o emprego de diversos estudos sobre queima de biomassa, desde os padrões do fogo à estimativa de sua severidade, bem como a estimativa da área queimada e o monitoramento da regeneração da vegetação (FREITAS *et al.*, 2005; MIGUEL *et al.*, 2010).

A qualidade dos dados coletados por esses satélites, estão relacionados aos elementos que determinam suas aplicações e limitações, como: resolução temporal, resolução espacial, resolução espectral e resolução radiométrica. Como exemplo de satélites disponíveis para a detecção de áreas atingidas por fogo podemos citar os satélites da série Landsat-8, o Sentinel-2 e os produtos do sensor MODIS, que apresentam diferentes resoluções e qualidade dos dados coletados.

O presente trabalho consiste numa análise espaço-temporal das áreas atingidas por fogo durante o período seco de 2020, um ano crítico de ocorrência de incêndios florestais no Noroeste do estado de Mato Grosso, utilizando dados e técnicas de sensoriamento remoto. Para isso, foram classificadas as áreas atingidas por fogo usando dados dos satélites Landsat-8 e Sentinel-2 e do produto MODIS 64A1. A área de estudo está localizada na Amazônia Legal brasileira, no Noroeste do Mato Grosso, uma região de fronteira do desmatamento, com alta intensidade de atividades de extração seletiva de madeiras e, conseqüentemente, é uma crítica de ocorrência de incêndios florestais e queimadas na Amazônia. Os resultados deste estudo possibilitaram avaliar técnicas e dados de sensoriamento remoto para detecção de áreas atingidas por fogo e quantificar a evolução destas áreas ao longo do período e região de estudo, incluindo os tipos de uso e cobertura da terra atingidos por fogo. Estes resultados poderão ser usados como base para definição de estratégias e prioridades de monitoramento e controle do fogo na região nos próximos anos.

2 PROBLEMA E QUESTÕES DE PESQUISA

A Amazônia é o maior bioma brasileiro, e a maior floresta tropical do mundo com cerca de 5 milhões de quilômetros quadrados, composta por uma alta diversidade de fauna e flora. Além de sua grande extensão territorial e biodiversidade, o bioma amazônico é essencial, pois ele presta vários serviços ecossistêmicos importantes, como: regulação das chuvas, regulação do clima, sequestro de carbono, polinização e controle de enchentes.

A floresta Amazônica vem sendo degradada por eventos de fogo, sendo um dos principais responsáveis pela modificação da paisagem natural da Amazônia, onde ocorre a conversão de florestas em culturas agrícolas ou grandes campos de pastagens.

Estudos sobre o impacto do fogo em florestas tropicais tornam-se cada vez mais importantes à medida que os efeitos provocados pelos incêndios passam a ter repercussões globais negativas, particularmente sobre a atmosfera e o estoque de biodiversidade (WHITMORE, 1990; COCHRANE, 2004). Algumas das ações do fogo que causam impactos negativos na floresta, são: emissão de gás carbônico para a atmosfera, aumento do efeito estufa, destruição de habitats naturais, redução da flora e da fauna e degradação do solo.

Devido a sua grande extensão territorial e áreas de difícil acesso, pode-se utilizar meios de detecção de queimadas através de vigilância terrestre por postos de vigilância e torres de observação, patrulhamento aéreo com aeronaves e monitoramento por imagens de satélites (BATISTA, 2004). O monitoramento de queimadas utilizando imagens de satélites é especialmente útil para regiões remotas, no entanto informações de outras áreas que auxiliem a interpretação e calibração desses dados são importantes para aprimorar a metodologia (INPE, 2011).

Diante desta problemática, o presente estudo busca responder as seguintes perguntas: Quais as acurácias dos produtos de detecção e classificação de áreas atingidas por fogo? A ocorrência de queimadas aumentou durante o período de junho a outubro de 2020, na área do estudo? Qual os meses mais críticos de ocorrência do fogo durante a estação seca? Quais os tipos de uso e cobertura da terra mais afetados pelo fogo na área e período de estudo?

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho foi analisar a ocorrência do fogo no município de Aripuanã, Noroeste do Mato Grosso, no período de junho a outubro de 2020, utilizando dados e técnicas de sensoriamento remoto.

3.2 Objetivos específicos

- Detectar áreas atingidas por fogo de junho a outubro de 2020, a partir da utilização de séries intra-anual de imagens dos satélites Landsat-8 sensor OLI, Sentinel-2 sensor MSI e produto MCD64A1;
- Identificar os meses mais críticos de ocorrência do fogo na área de estudo;
- Relacionar os meses mais críticos de ocorrência do fogo com o índice PDSI;
- Avaliar a acurácia dos dados do Landsat-8, Sentinel-2 e produto MCD64A1 para detecção de áreas atingidas por fogo;
- Quantificar os tipos de uso e cobertura do solo atingido por fogo na área e período de estudo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Utilização do Sensoriamento Remoto como ferramenta para análise de queimadas

Segundo Florenzano (2007), o Sensoriamento Remoto trata-se de uma ferramenta que tem como base a obtenção de imagens por meio de equipamentos que captam a reflexão das radiações eletromagnéticas de alvos localizados na superfície terrestre. É uma ferramenta utilizada para facilitar a obtenção de informações acerca de uma área, objeto ou fenômeno presente na superfície terrestre, onde não apresenta nenhum tipo contato físico entre o pesquisador, o sensor e a área de estudo.

O Sensoriamento Remoto abrange tanto as fotografias aéreas, como também as imagens de radar e de satélites. Segundo Slater (1980), os sistemas sensores capazes de captar e registrar a radiância refletida ou emitida por objetos da superfície terrestre e/ou da atmosfera têm se mostrado como ferramenta ímpar nos estudos de diagnósticos e planejamentos do uso dos recursos naturais.

Uma das técnicas utilizadas com frequência por essa ferramenta, para diagnósticos e planejamentos dos recursos naturais, é a análise multitemporal. Segundo o Novo (1988), a análise multitemporal consiste na manipulação de imagens de uma mesma área em datas diferentes, podendo desta forma identificar as transformações desta área em relação ao tempo.

Dessa maneira, dados de séries temporais de sensoriamento remoto são ferramentas úteis para identificar e caracterizar as dinâmicas dos ecossistemas terrestres, em escala temporal (ZHOU; ZHANG, 2013). Ajudando a detectar e monitorar diversos tipos de alterações na superfície terrestre em um determinado espaço de tempo, como por exemplo, o monitoramento de queimadas em diferentes anos em uma determinada área.

Santos *et al.*, (2011) afirmam que as geotecnologias surgem como um importante recurso de subsídio na identificação das queimadas permitindo localizar, quantificar e fazer estudos de análises espaço-temporais das áreas onde ocorrem incêndios. E para que uma área queimada seja detectada pelo Sensoriamento Remoto, tem que ser através de fontes de radiação, como por exemplo: a emissão da queimada como substância de combustão, a reflexão da área onde ocorreu a queimada e a reflexão do solo exposto. A utilização de mudanças na superfície entre vegetação e solo exposto é uma das formas mais utilizadas para detecção de áreas queimadas, como exemplo tem-se o uso de imagens de satélites dos sistemas Landsat e Spot, que possuem grande potencial para tal fim, devido a sua fina resolução espacial em relação a outros sensores (FRANÇA; FERREIRA, 2005).

Ter informações detalhadas, monitoradas e atualizadas da extensão e localização de determinadas áreas queimadas, é de grande importância, pois permite avaliar e quantificar os efeitos ecológicos, monitorar as mudanças da cobertura do solo, e elaborar estudos de impactos ambientais derivados das queimadas da cobertura vegetal. O sensoriamento remoto representa uma ferramenta particularmente útil para obter essas informações, principalmente em extensas áreas afetadas pelo fogo ou áreas de difícil acesso (PEREIRA *et al.*, 1997). Pinheiro e Borges (2014) confirmam que o sensoriamento remoto associado ao geoprocessamento são importantes ferramentas para detectar, de forma rápida, as mudanças do meio ambiente.

Segundo Batista (2004) justifica-se o uso do sensoriamento remoto como ferramenta de detecção de focos de calor, pois, para países de grande extensão territorial como o Brasil, o monitoramento dos incêndios, a nível nacional e em escalas regionais, através de imagens de satélites é o meio mais eficiente e de baixo custo, quando comparado com os demais meios de detecção.

Silva *et al.*, (2013) concluíram que as imagens de satélites aliadas às técnicas de sensoriamento remoto no estudo de queimadas florestais mostram-se sim um método eficiente, simples e viável, capaz de fornecer dados da localização destas áreas e quantificação das mesmas. E segundo Corrêa e Alencar (2013) o monitoramento de queimadas em imagens de satélites é imprescindível para regiões sem meios intensivos de acompanhamento, condição esta que representa a situação geral do País.

Conclua-se então, que o Sensoriamento Remoto é uma ferramenta de grande importância para a identificação de incêndios florestais, principalmente em áreas de difícil acesso e fiscalização, pois ela permite cruzar informações georreferenciadas, podendo quantificar essas queimadas e fazer a localização de focos de calor em todo o país.

4.2 MapBiomias

O projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias), nasceu em 2015, consiste em uma iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima), com a ideia de produção de mapas anuais de uso e cobertura da terra para todo o Brasil. É uma rede composta por co-criadores formada por universidades, ONGs e empresas de tecnologia, especialistas em sensoriamento remoto, em Sistema de Informações Geográficas (SIG), ciência da computação e especialistas no uso da terra e nos biomas brasileiros.

O propósito principal do projeto é contribuir para o entendimento da dinâmica do uso do solo no Brasil e em outros países tropicais tendo como base o desenvolvimento e

implementação de uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo do Brasil a partir de 1985 até os dias atuais (e posterior atualização anual); criação de uma plataforma para facilitar a disseminação da metodologia para outros países e regiões interessadas utilizando a mesma base de algoritmos; e estabelecer uma rede colaborativa de especialistas nos biomas brasileiros para o mapeamento da cobertura do solo e da sua dinâmica de mudanças (MAPBIOMAS, 2016).

As principais características da iniciativa MapBiomas são: trabalho em rede com instituições responsáveis por diferentes biomas e temas transversais para otimizar as soluções; processamento distribuído e automatizado dos dados por meio da parceria com Google Earth Engine; trabalho orientado para gerar uma plataforma aberta, multiplicável e com possibilidade de aplicação em outros países e contextos; e a manutenção de uma plataforma colaborativa, desenhada para incorporar e acolher as contribuições da comunidade científica e demais interessados em colaborar (MAPBIOMAS, 2016).

Além disso os principais produtos gerados pelo MapBiomas são: mosaicos de imagens de satélites; mapas de cobertura e uso do solo; Relatório anual de transições de cobertura e uso do solo; Mapserver, que é uma plataforma Web de consulta pública, que contém imagens, mapas e permite que o usuário gere estatísticas sobre a cobertura e o uso do solo e suas transições; MapBiomas Workspace, consiste em uma plataforma Web de trabalho, onde o trabalho de produção do MapBiomas ocorre; uma coleção de scripts de processamento e classificação de imagens.

Todo esse material e os scripts são compartilhados em uma plataforma, e em três ambientes: Google Drive, MapBiomas Workspace e no Code Editor do Google Earth Engine.

4.3 Plataforma Google Earth Engine

O Google Earth Engine (GEE), trata-se de uma plataforma online avançada de processamento geoespacial, em ampla escala planetária e em escala de petabytes, que tem como objetivo analisar dados ambientais. É uma ferramenta para prover dados para que algoritmos sejam desenvolvidos em escala global (GOOGLE INC., 2018a).

Essa plataforma reúne por volta de mais de 40 anos de imagens globais de satélites e conjunto de dados geoespaciais, onde permite o usuário visualizar, editar, manipular e criar dados espaciais, de uma maneira eficiente e fácil.

A utilização do Google Earth Engine (GEE) torna o processamento e obtenção de imagens extremamente rápido e inclusivo, uma vez que a plataforma está disponível para qualquer usuário:

O Earth Engine foi projetado para suportar rapidez, exploração interativa e análise de dados espaciais, permitindo ao usuário análise global e detalhada dos resultados, incluindo análise individual de cada conjunto de dados. (GORELICK et al., 2017, p.4).

A ferramenta integra um conjunto de dados geoespaciais com cobertura global, a capacidade de armazenamento e processamento altamente elevados correspondentes ao ambiente de computação da nuvem Google, e um ambiente de desenvolvimento integrado suportando a implementação de algoritmos de análise e processamento de dados geoespaciais nas linguagens Java Script e Python (GORELICK et al., 2017).

Ele incorpora uma ampla gama de ferramentas de manipulação espacial que permite cientistas, pesquisadores e desenvolvedores detectar mudanças, mapas de tendências e quantificar diferenças sobre a superfície da Terra. (LABGIS, 2018).

O estabelecimento da plataforma *Google Earth Engine* (GEE) revolucionou o processamento de dados geoespaciais por proporcionar facilidade, extensa documentação e agilidade de processamento (CAYO; CHAVES, 2017).

A plataforma GEE está disponível online, para cientistas, pesquisadores independentes, estudantes universitários, professores e nações que queiram explorar seu banco de dados, para formulação de pesquisas, estudos e análises, onde pode ser detectado mudanças, dimensionar e quantificar as diferenças geradas durante os anos, na superfície da terra.

Segundo o site da plataforma *Google Earth Engine*, a detecção de desmatamento, a classificação da cobertura da terra e suas alterações correspondentes, as estimativas de biomassa florestal e de carbono assim como o mapeamento de áreas sem estradas no mundo destacam-se como uma das principais aplicações atuais (GOOGLE EARTH ENGINE, 2017).

O catálogo de dados geoespaciais disponíveis no GEE é bastante vasto, sendo possível destacar produtos com cobertura regional e/ou global de diversos sensores como, ASTER e MODIS, além da coleção de imagens de satélites, Landsat e NOAA, assim com produtos MeaSURES (novos registros de imagens da superfície terrestre que partem do princípio da junção de diferentes dados com o objetivo de formar uma série temporal única, consistente e coerente). (GANEM et al., 2017).

Como podemos observar, essa plataforma é bastante interessante e eficiente para desenvolver pesquisas, por ser online, gratuita e de fácil acesso para aqueles que desejam utilizar suas ferramentas e banco de dados. Por isso é viável a sua utilização para fazer o monitoramento, a análise e estimar as áreas queimadas do presente estudo.

4.4 Sentinel-2

O Sentinel-2, é um satélite com sensor multiespectral de resolução espacial média produzido pela Agência Espacial Europeia (ESA), foi arquitetado para assegurar a continuidade da cobertura de dados globais da Terra realizada pelas séries de satélites LANDSAT e SPOT (do francês *Satellite Pour l'Observation de la Terre*). Esta missão foi lançada em 2015 e o sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI) apresenta uma larga faixa imageada (290 km), boa resolução temporal (cinco dias, com dois satélites), resolução espacial alta e média (10, 20 e 60 m) e um número relativamente alto de bandas (13 bandas espectrais), e o tamanho da cena disponibilizada é de 100 por 100 km (DRUSCH *et al.*, 2012; SOTHE *et al.*, 2017a).

As 13 bandas espectrais presentes no Sentinel-2 (Tabela 1), vão desde o visível (VIS), infravermelho próximo (NIR) e até o infravermelho de ondas curtas (SWIR), ou seja, de 443nm a 2190 nm, sendo 4 bandas a 10 metros de resolução espacial (bandas VIS e NIR) foram definidas para manter a compatibilidade com os produtos SPOT, 6 bandas a 20 metros de resolução espacial (*red-edge* e SWIR) utilizadas para observar principalmente as características da vegetação terrestre e 3 bandas a 60 metros de resolução espacial utilizadas par correção atmosférica. (DRUSCH *et al.*, 2012; ESA, 2017).

Tabela 1 - Características do Satélite Sentinel-2

Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)
B1 - Aerossols	0,43 - 0,45	60
B2 - Blue	0,46 - 0,52	10
B3 - Green	0,54 - 0,58	10
B4 - Red	0,65 - 0,68	10
B5 - Red Edge 1	0,7 - 0,71	20
B6 - Red Edge 2	0,73 - 0,75	20
B7 - Red Edge 3	0,76 - 0,78	20
B8 - NIR	0,78 - 0,90	10
B8A - Red Edge 4	0,85 - 0,87	20
B9 - Water vapor	0,93 - 0,95	60
B10 - Cirrus	1,36 - 1,39	60
B11 - SWIR 1	1,56 - 1,65	20
B12 - SWIR 2	2,10 - 2,28	20

Fonte: Adaptado de ESA (2017).

Em comparação com os últimos sensores, o Sentinel-2 incorpora três novas bandas espectrais na região da borda vermelha (*red-edge*), que são centradas em 705, 740 e 783 nm, que fornecem informações importantes sobre o estado da vegetação (DRUSH *et al.*, 2012).

A banda do Red Edge localiza-se espectralmente entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo (NIR) (BLACKBRIDGE, 2012), possuindo capacidade para detecção de diferenças em pigmentos de clorofila (VAGLIO LAURIN *et al.*, 2016). A região do

vermelho é uma das áreas onde a clorofila absorve fortemente a luz, e o NIR é a região na qual a estrutura celular da folha produz uma forte reflectância. Assim, variações tanto no conteúdo de clorofila como na estrutura foliar são refletidos na banda do Red Edge (BLACKBRIDGE, 2012), o que demonstra seu potencial para estudos com vegetação.

Antes mesmo do lançamento do primeiro satélite Sentinel-2, diversos autores testaram suas características no mapeamento de propriedades químicas e físicas da vegetação. Nestes estudos e em outros trabalhos que simularam dados do Sentinel2, foi encontrada boa correlação com a reflectância ao se estimar diversos atributos biofísicos e bioquímicos, como a clorofila e o IAF (FRAMPTON *et al.*, 2013); a radiação fotossinteticamente ativa (DONG *et al.*, 2015); a biomassa acima do solo (SIBANDA MUTANGA e ROUGET, 2015); e o IAF verde e senescente (DELEGIDO *et al.*, 2015).

As pesquisas que são relacionadas ao mapeamento de áreas com presença de cicatrizes de fogo, são baseadas na maioria das vezes em: detecção de mudanças na cobertura do solo, a partir da comparação de séries espaço-temporais de imagens de satélites; aplicação de índices nos canais sensíveis a alterações ocasionadas pela ação do fogo no solo; e a aplicação de modelos onde se faz a mistura espectral para que ocorra a separação de dados puros e os pixels derivados.

A opção de utilização de mais de um método para melhor identificação dos alvos também é indicada, além da inclusão das alterações temporais de temperatura de superfície observadas no infravermelho termal (HOLDEN *et al.*, 2005; GIGLIO *et al.*, 2009; MORTON *et al.*, 2011; STILL; PAU; EDWARDS, 2014).

4.5 Landsat-8

O programa Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) foi desenvolvido pela NASA na segunda metade da década de 60, e tem como objetivo, fazer a observação e a coleta de dados dos recursos naturais terrestres. O programa contou com o lançamento de 9 satélites, todos com imagens multiespectrais, e atualmente apenas três encontram-se em operação, o Landsat-7, o Landsat-8 e o Landsat-9 que é o mais moderno de todos os Landsats.

O satélite Landsat-8, tem objetivo de dar continuidade ao programa Landsat, iniciado em 23 de julho de 1972, com o lançamento do *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS) (WULDER *et al.*, 2016). Foi lançado em 11 de fevereiro de 2013 e tem como objetivo principal coletar, arquivar, processar e distribuir dados científicos de forma consistente com o registro de dados existente dos demais sensores da série Landsat (IRONS *et al.*, 2012). Além disso apresenta uma vida útil de 5 anos, desempenho radiométrico, relações sinal-ruído, sensibilidade

à polarização e estabilidade; uniformidade das larguras das bandas espectrais e dos comprimentos de onda; distâncias da amostra de solo e resposta da borda. Característica Landsat-8 (Tabela 2):

Tabela 2 - Características Landsat 8.

Instrumento/Sensor	OLI e TIRS
Operadora/Instituição Responsável	NASA
País	Estados Unidos
Situação Atual	Ativo
Lançamento	02/11/2013
Altitude	705 km
Inclinação	98,2°
Órbita	Circular, Polar, Heliossíncrona
Faixa Imageada	185 km
Tempo de Duração da Órbita	99 min.
Horário da Passagem	10h/12h
Período de Revista	16 dias
Resolução Espacial	Pancromático: 15 m Multiespectral: 30m Termal: 100 m

Fonte: Adaptado de Engesat (<http://engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>)

O lançamento do satélite Landsat-8 OLI/TIRS (Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor) garantiu a continuidade dos dados Landsat de sensoriamento remoto, representando avanços, entre eles, na janela do TIR. O sensor 18 TIRS coleta dados em duas bandas espectrais localizadas na janela atmosférica entre 10 e 12 μm (IRONS; DWYER; BARSI, 2012).

As imagens do Landsat-8/OLI possui bandas espectrais para a coleta de dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, e uma banda pancromática. Já o Landsat-8/TIRS possui bandas espectrais na faixa do infravermelho termal. Com isso esse conjunto de dados conta com um total de 11 bandas espectrais (USGS, 2013) (Tabela 3).

Tabela 3 - Descrição das bandas utilizadas no Landsat -8.

Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)
B1 - Coastal aerosol	0,43-0,45 μm	30
B2 - Blue	0,45-0,51 μm	30
B3 - Green	0,53-0,59 μm	30
B4 - Red	0,63-0,67 μm	30
B5 - Near Infrared (NIR)	0,85-0,87 μm	30
B6 - SWIR 1	1,56-1,65 μm	30
B7 - SWIR 2	2,11-2,29 μm	30
B8 - Panchromatic	050-0,68 μm	15
B9- Cirrus	1,36-1,38 μm	30
B10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10,60-11,19 μm	100
B11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11,50-12,51 μm	100

Fonte: Adaptado do USGS (<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>)

Os satélites Landsat representa a mais completa sequência contínua de dados do sensoriamento remoto, e por isso tem se destacado e sendo o mais utilizado para o desenvolvimento de pesquisas científicas em sistemas terrestres. E atualmente é o mais recente satélite da série Landsat, que apresenta diversas vantagens se comparado a outros satélites, como: baixo custo em aplicações para pesquisas; tem uma rápida disponibilidade dos dados para a maior parte do mundo; uma baixa distorção da imagem real; cobertura multiespectral repetitiva, que com isso permite análises em diferentes escalas temporais.

4.6 MODIS 64A1

O MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um sensor que está a bordo dos satélites Terra e Aqua, lançados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) em 18 de dezembro de 1999 e 4 de maio de 2002, respectivamente. A diferença entre o satélite Terra e o Aqua, é que o Terra possui sua órbita em torno da terra com direção de Norte a sul passando pela linha do Equador no período da manhã, já o satélite Aqua também passa na direção Norte a sul sobre a linha do Equador, mas nesse caso no período da tarde.

O sensor MODIS fornece imagens de 12 bits em 36 bandas espectrais, e apresenta um intervalo do espectro eletromagnético de 0,4 a 14,4 μm . Ele observa toda a superfície terrestre a cada dois dias, dentro de uma faixa de varredura de 2.330 km, e com isso ele registra dados de três diferentes resoluções espaciais: duas bandas de 250 m, 5 bandas de 500 m e as demais de 1000 m.

Outra característica importante é que os dados do sensor MODIS são recebidos pelo sistema de operação EDOS (*Eos Data and Operations System*), em que se processam os dados em cinco níveis, incluindo a geolocalização e a calibração das imagens até a geração de 44 produtos MODIS (NASA, 2009). De todos os produtos gerados pelo MODIS, os mais apreciados são os MCD45A1 e o MCD64A1, por conta da sua acessibilidade, manipulação amigáveis, sua resolução espacial relativamente alta (500 m) e sua confiabilidade (MOUILLOT *et al.*, 2014; PADILLA *et al.*, 2015).

O produto MCD64 é usado para o mapeamento de área queimada, ele combina imagens diárias de reflectância de superfície MODIS, com dados de fogo ativo MODIS de 1 km, para mapear a queima em uma base diária a 500 m de resolução espacial (GIGLIO *et al.*, 2009). O algoritmo híbrido aplica limites dinâmicos para imagens compostas geradas a partir de um índice de vegetação sensível às queimadas, derivado dos canais infravermelhos MODIS de ondas curtas 5 e 7, e uma medida de textura temporal. (HUMBER, 2018). As camadas de dados do produto MCD64 incluem, data de gravação, incerteza de dados de gravação, garantia de

qualidade e primeiro dia e último dia de detecção confiável de alterações do ano (RUIZ *et al.*, 2014).

O Produto MCD64A1, coleção 6, apresenta uma melhora geral na detecção de áreas queimadas sobre coleções passadas. Em particular, uma melhor detecção de pequenos incêndios e a adaptabilidade a diferentes condições regionais em múltiplos ecossistemas estão entre os principais aspectos positivos deste produto (FORNACCA *et al.*, 2017).

Alguns estudos foram feitos para analisar o potencial e confiabilidade desse produto. Zidane *et al.* (2017) analisaram a confiabilidade dos dados MODIS MCD64A1 e MCD45A1, nas florestais mediterrâneas no Marrocos, e concluíram que o produto MCD64A1 fornece resultados satisfatórios na detecção de incêndios, mas com uma superestimação do tamanho da queima, enquanto o MCD45A1 apresentou resultados não confiáveis.

O sensor usa um Índice de Vegetação (VI) sensível a queima com o intuito de criar limites dinâmicos que são aplicados a dados compostos. O Índice de Vegetação é composto pelas bandas 5 e 7 de refletância da superfície, corrigida atmosférica por infravermelho de ondas curtas MODIS (LP DAAC, 2021).

Segundo Giglio *et al.* (2015), as camadas geradas pelo produto MCD64A1 são: *Burn date* (data de queimada); *Burn Data Uncertainty* (Incerteza da data da queimada); *Quality Assurance* (Garantia de Qualidade); Primeiro e último dia de detecção de alterações do ano.

4.7 Incêndios Florestais na Amazônia

4.7.1 Bioma Amazônia

Situado ao sul do Planalto das Guianas, a Norte do Planalto Central, a leste da Cordilheira dos Andes e a Oeste do Oceano Atlântico, drenando, além do Brasil, terras de oito países sul-americanos (DIEGUES, 2002), esse bioma totaliza uma área de 6.500.000 de Km². Cerca de 4,2 milhões de km² desse total encontra-se no Brasil, na bacia amazônica, distribuídos entre os estados do Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá e Rondônia (Região Norte) e a porção Norte e Noroeste do estado de Mato Grosso (Região Centro-Oeste), representando 49% do território nacional (IBGE, 2010).

Em especial, o estado de Mato Grosso, localizado no coração da América do Sul, tem uma área de 903.329,700 km², com 3.035.122 habitantes (IBGE. 2010), que engloba a biodiversidade de três grandes biomas brasileiros: a Amazônia, o Cerrado e o Pantanal Mato-grossense. Entre estes três biomas, a Amazônia é o mais abrangente, com 480.215,00 km² (53,6%).

Além da sua grande extensão territorial, o Bioma Amazônia é marcado por sua rica biodiversidade, sendo considerado um dos mais importantes biomas do mundo. Estima-se que a Amazônia brasileira possui a maior riqueza de espécies vegetais e animais, aproximadamente 15% dos 1,5 milhões de espécies já catalogadas existentes no planeta. São cerca de 22% das espécies de plantas com sementes, 10% das espécies de mamíferos, 17% das aves, 15% dos anfíbios e 10% de todas as espécies de peixes (CASTRO, 1998; BICUDO; SHEPHERD, 1998).

A Floresta Amazônica compreende aproximadamente um quarto de todas as espécies existentes no mundo (DIRZO; RAVEN, 2003) e é responsável por 15% de toda a fotossíntese terrestre (FIELD *et al.*, 1998)

Por causa da sua rica biodiversidade, o bioma apresenta um papel muito importante para a existência e manutenção da nossa espécie, pois apresenta funções e serviços ecológicos importantes para nosso ecossistema, como por exemplo: produção de matéria prima e recursos hídricos; banco genético; regulação e manutenção do ciclo do carbono; regulação do clima, conseqüentemente, diminuição do aquecimento global; funciona como barreira para incêndios florestais, por causa da umidade mantida pela evapotranspiração;

Porém a estabilidade do clima da Floresta Amazônica não é mais a mesma, nos últimos tempos essa estabilidade vem sendo perdida, devido à diversos fatores humanos, como por exemplo: o desmatamento, maiores concentrações de CO₂ na atmosfera, aquecimento global, aumento de eventos climáticos extremos e com maior frequência, inundações e o aumento dos incêndios florestais.

4.7.2 Incêndios na Amazônia

Na floresta amazônica, devido a sua importância, há algum tempo vem sendo realizados diversos estudos onde estão incluídos, o desmatamento, eventos climáticos extremos, mudanças climáticas, perda da flora e da fauna, e os frequentes incêndios florestais.

Na região compreendida como Amazônia Legal, no Estado de Mato Grosso, que apresenta um grau de urbanização de 79%, entre 1980 a 2000 (IBGE, 2000), a maior influência relaciona-se à pressão antrópica causada pela mineração, desflorestamento, lavouras e pecuária. No Estado de Mato Grosso (Centro-Oeste do Brasil), segundo Matricardi *et al.*, (2010) a quantidade total de floresta perturbada por exploração seletiva e incêndios aumentou de 5,4% em 1992 para 40,1% em 2004.

A prática do uso do fogo no manejo de pastagens, cultivos agrícolas, vegetação secundária (capoeiras) e queima da derrubada, durante o período de seca, faz parte do paradigma de desenvolvimento da Amazônia (FEARNSIDE, 1990; VAN DER WERF *et al.*,

2010). Com o aumento de queimadas no sub-bosque (árvores com DAP ≥ 10 cm, vegetação de baixa estatura, que crescem em níveis mais baixos do dossel), ocasiona perda de biomassa e aumento na emissão de gás carbônico e aerossóis para a atmosfera, que acaba influenciando diretamente no aquecimento global.

A ocorrência de incêndios frequentes afeta a curto, médio e longo prazo a fauna local, pela perda de habitat, e diminui a capacidade de regeneração da flora, que por sua vez sofre alta taxa de mortalidade por não possuir mecanismos de resistência ao fogo; os incêndios causam ainda a perda do banco de sementes do solo, que é fundamental em um processo de regeneração. Além disso, a população humana do entorno sofre com a presença da fumaça, que em maior escala contribui com o aquecimento global pela emissão de CO₂ (FEARNSIDE, 1990).

Os impactos gerados pelos incêndios florestais que ocorrem na região amazônica, podem ser reduzidos e evitados com apoio do governo, já que a grande parte dos incêndios são causados por atividades humanas (exploração madeireira ilegal, o desmatamento e o avanço das áreas de produção agropecuária). Algumas formas de diminuir ou evitar os incêndios na região, são por exemplo: aumento no monitoramento do fogo, aplicação de técnicas de manejo de terras sem fogo, maior aplicação da legislação brasileira vigente às queimadas florestais ilegais, maior proteção as unidades de conservação e programas de educação ambiental para toda população.

4.7.3 Incêndios no Noroeste do Mato Grosso

Dentro deste contexto, o estado de Mato Grosso merece uma atenção especial. O Mato Grosso vem liderando, há anos, o *ranking* do desmatamento da Amazônia Legal, e somente no ano de 2003, contribuiu com 43% do total desmatado na região (INPE, 2005). Também no ano de 2016 segundo o Monitoramento de Queimadas e Incêndios feito pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, o Mato Grosso liderou o ranking dos estados com maiores índices de focos de calor. De janeiro até agosto foram cerca de 16,5 mil focos registrados por satélites. Já no ano de 2019, de janeiro até agosto, Mato Grosso registrou o maior número de focos de incêndio na Floresta Amazônica, chegando a mais de 15 mil ocorrências. Só no mês de março de 2019, despontou como o estado que mais desmatou na Amazônia. Isso é decorrência do desmatamento ilegal, que foi executado ao longo de meses, e que teve um aumento significativo no mês de junho de 2018, que chega a 90% a mais se comparado ao mesmo mês no ano de 2019. Isso explica a crescente quantidade de incêndios que acontecem no bioma amazônico, ou seja, as queimadas estão diretamente relacionadas a esse aumento brutal do desmatamento e destruição do bioma.

Mais da metade desses desmatamentos e focos de calor estão concentrados em apenas 10 municípios (Figura 1) das regiões Norte e Noroeste do Mato Grosso, onde os maiores destaques estão em Colniza e Aripuanã.

10 municípios com maior número de focos de calor no período de proibição

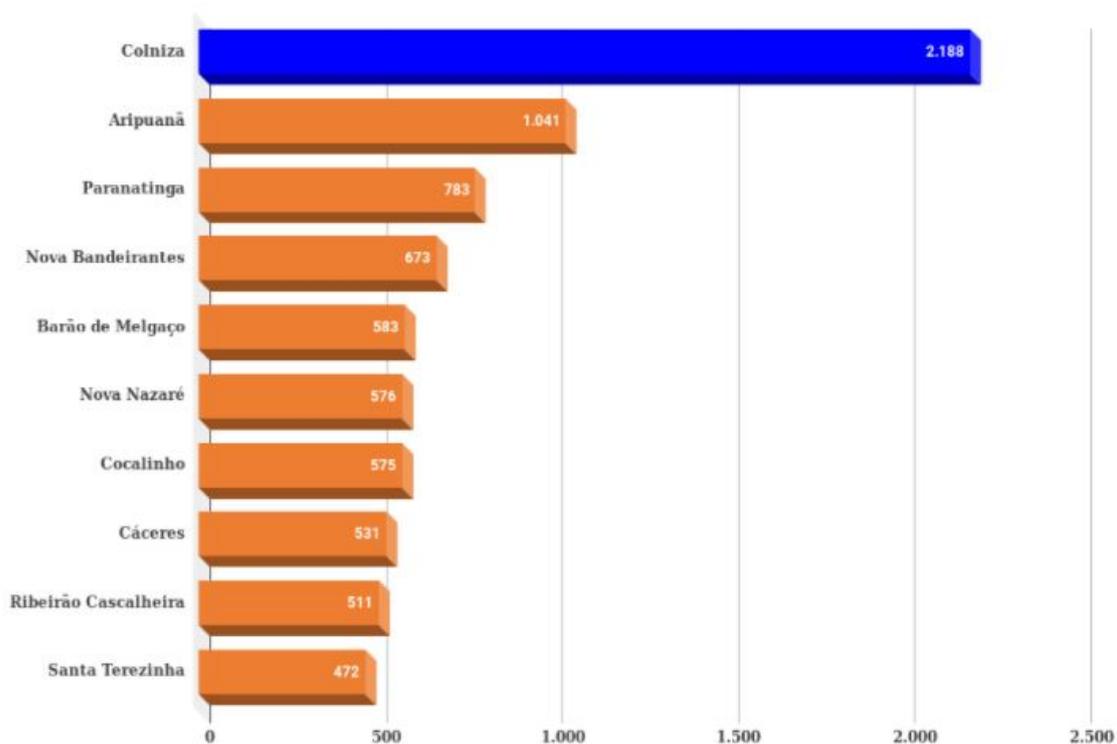


Figura 1 – Os dez municípios com maior número de focos de calor no estado do Mato Grosso.

Fonte: Instituto Centro de Vida (2019)

No Noroeste do Mato Grosso existem alguns problemas socioambientais, como: extração ilegal de madeira, formações de pastagens e a expansão da fronteira agrícola. Onde a extração de madeira, é a base da economia da região, embora cause muitos impactos ambientais negativos, como a degradação e fragmentação florestal.

O Mato Grosso é um grande polo de madeiras, só em 2004 o estado contava com 26 polos madeiros espalhados em 3 regiões: Norte, central e Noroeste. Nesses polos, um total de 872 madeiras consumiram 8 milhões de metros cúbicos de madeira, quase 1/3 dos 24.460 milhões de metros cúbicos produzidos na Amazônia Legal em 2004 (LENTINI, 2005). Boa parte dessas madeiras se deslocaram para o Noroeste mato-grossense, onde o recurso florestal ainda é abundante.

Os municípios de Colniza e Rondolândia foram fundados em 2001 a partir do desmembramento do município de Aripuanã e o fluxo de madeiras para a região tem aumentado consideravelmente nos últimos anos (LENTINI, 2005). Na maioria dos casos o que

mais ocorre é exploração madeireira predatória, onde garimpam as espécies de maior valor de mercado, sem levar em consideração os danos causados à floresta. Com a frequente prática ilegal de exploração florestal, ocorre o aumento considerável a susceptibilidade de ocorrência de incêndios florestais.

Com o aumento da extração vegetal e da pecuária nessas regiões, houve consequentemente um aumento no número das queimadas nos últimos 20 anos. Essas queimadas ocorrem principalmente dentro de propriedades rurais particulares, cerca de 60% dos focos de calor foram dentro dessas áreas privadas registradas no Cadastro Ambiental Rural, e são responsáveis por cerca de 3,96 milhões de hectares incendiados.

O fogo é muito utilizado para a limpeza de áreas para a realização de atividades agropecuárias, mas no período de estiagem, que normalmente vai de junho até setembro, onde a umidade está baixa e a temperatura alta, é proibido a utilização de fogo para esses meios.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Aripuanã (Figura 2), criado em 31 de dezembro de 1943 pelo decreto de lei nº 545, localizado no Noroeste do estado do Mato Grosso, e situado dentro da Amazônia Legal, com aproximadamente 25.049 km², altitude de 150 metros, e coordenadas geográficas: Latitude: 9°10'46'' e Longitude: 60°37'50''.

Segundo a classificação de Koppen, em grande parte da região o clima é do tipo Am, caracterizado como clima tropical úmido ou sub-úmido, com breves estações de seca e chuvas intensas durante o resto do ano, com temperaturas médias mensais superiores a 18°C, já em uma pequena parte ao sul do município o clima é do tipo Aw, considerado um clima tropical, com inverno seco, e presença de chuvas no verão, com temperaturas médias mensais superiores a 18°C e precipitações de 750 mm, podendo atingir em alguns casos 1800 mm.

No Noroeste do Mato Grosso, predominam formação florestal composta por Floresta Tropical Pluvial (Floresta Ombrófila Densa), Floresta Ombrófila Aberta e Floresta Estacional Perenifólia, com a presença de solo com característica argilo-arenoso.

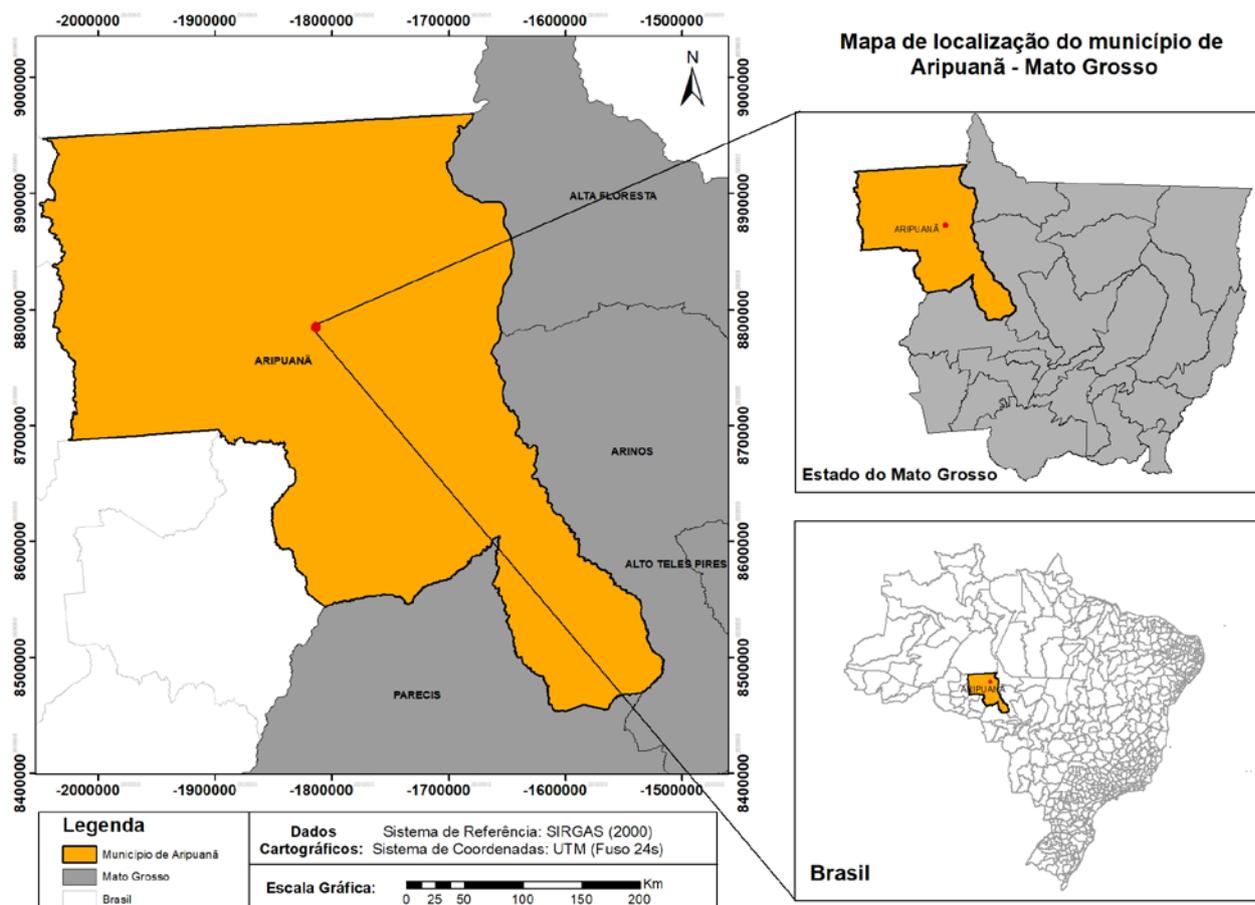


Figura 2 – Localização da área de estudo no Noroeste do estado do Mato Grosso.

5.2 Base de dados

5.2.1 Diagnóstico das queimadas utilizando a plataforma *Google Earth Engine*

As informações e os dados de ocorrência de queimadas utilizados na presente pesquisa foram extraídos com o auxílio da plataforma de análise geoespacial baseada na nuvem, *Google Earth Engine* (Figura 3), que utiliza dados de sensoriamento remoto para a obtenção de imagens. A plataforma permite que o usuário consiga visualizar, manipular, editar e ainda criar dados espaciais para a realização de estudos, e isso tudo de uma maneira rápida e eficiente, sem a necessidade de baixar os dados.

É uma plataforma de análise de dados ambientais em escala global, que reúne cerca de 40 anos de imagens de satélites, com conjunto de dados da cobertura do solo, uso da terra e mudanças climáticas, entre outros. Essas bases de dados nos permitem fazer mapeamento de áreas, planejamento urbano, monitorar mudanças globais, mapear e quantificar áreas queimadas, classificar o uso do solo, entre outros.

No presente estudo a plataforma GEE, foi utilizada para fazer a comparação de imagens dos satélites Landsat 8, Sentinel 2 e MODIS 64A1, com o intuito de estimar as áreas queimadas

na região de Aripuanã, calcular a persistência do fogo no período do estudo, classificar a cobertura e uso do solo mais atingido pela ação do fogo e fazer a acurácia de qual satélite melhor demonstrou essas áreas queimadas.



Figura 3 - Plataforma Code Editor do Google Earth Engine e suas principais funcionalidades.

5.2.2 Landsat 8

Para a obtenção dos dados de áreas queimadas foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8, que é dividido em 2 tipos de sensores: Sensor OLI e Sensor TIRS. O sensor OLI possui bandas espectrais para a coleta de dados na faixa do visível, sendo o infravermelho de ondas curtas, infravermelho próximo e uma banda pancromática. Já o sensor TIRS apresenta bandas espectrais na faixa do infravermelho termal.

O satélite Landsat-8 se destaca por estar em operação há 9 anos (desde 2013), uniformidade nos comprimentos de onda, sensibilidade à polarização e estabilidade, rápida disponibilidade dos dados, baixo custo para aplicações em pesquisas e apresenta uma distorção mínima das imagens. Apresenta também características, como:

Tabela 4 – Resolução espectral, espacial, temporal e radiométrica do Landsat-8

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	(B1) AZUL COSTEIRO	0.43-0.45 μm				
	(B2) AZUL	0.45-0.51 μm				
	(B3) VERDE	0.53-0.59 μm				
	(B4) VERMELHO	0.64-0.67 μm				
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.85-0.88 μm	30 m			
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.57-1.65 μm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.11-2.29 μm		16 dias	170 x 183 km	16 bits
	(B8) PANCROMÁTICA	0.50-0.68 μm	15 m			
	(B9) CIRRUS	1.36-1.38 μm	30 m			
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	(B10) INFRAVERMELHO TERMAL	10.6-11.19 μm	100 m			
	(B11) INFRAVERMELHO TERMAL	11.5-12.51 μm	100 m			

Fonte: Adaptado do USGS (<https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>).

No caso do presente trabalho, foram usadas as imagens de satélite do Landsat-8, para a análise espaço-temporal e quantificação de áreas queimadas na área de estudo, no período de junho à outubro de 2020. Para detectar e quantificar as áreas queimadas na região do estudo, foram utilizadas amostras feitas na plataforma GEE, para separar o que era fogo, água, floresta e desmatamento, e assim chegar nos valores de queimadas na região de Aripuanã.

No Landsat-8 foram utilizadas as bandas do visível e infravermelho, para a detecção de focos de calor. Para destacar visualmente as queimadas e manter as características da cobertura vegetal, foi usada a combinação RGB das bandas 5, 6 e 4, e resolução espacial de 30 metros (Figura 4).

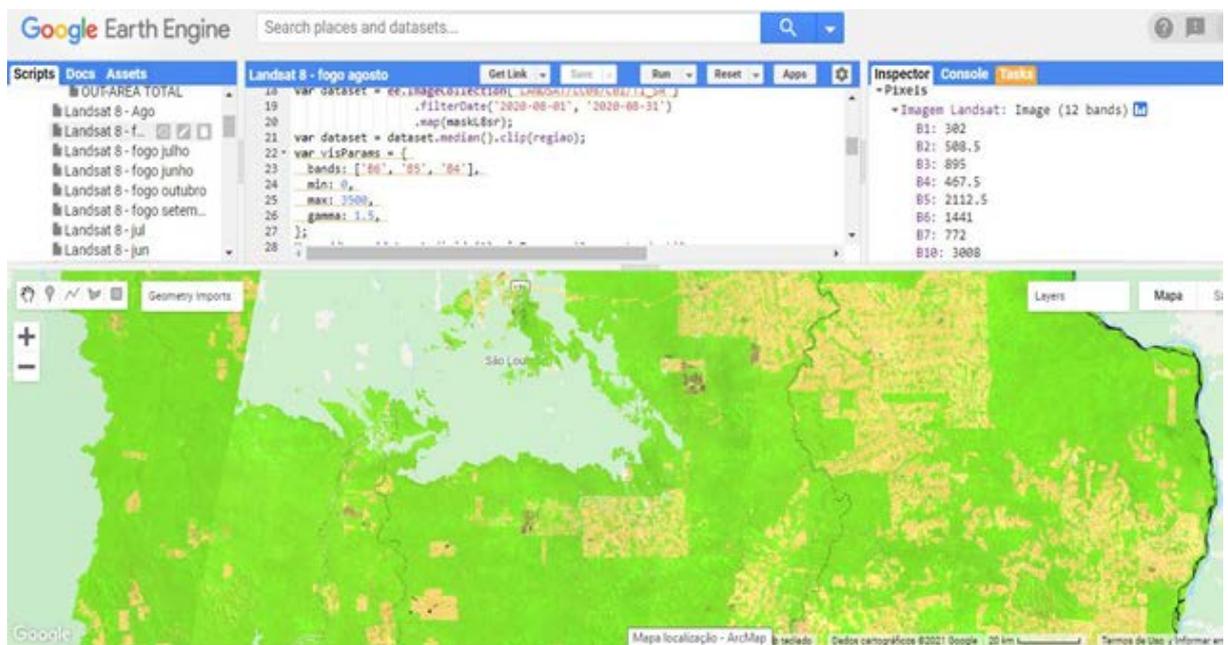


Figura 4 - Imagem Landsat-8 com combinação RGB das bandas 5,6 e 4.

5.2.3 Sentinel-2

No presente estudo, também foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2 para a demonstração e cálculo das áreas queimadas na região de Aripuanã. O satélite possui um conjunto de 13 bandas espectrais, que vão desde o visível, infravermelho próximo, até o infravermelho de ondas curtas (Tabela 5).

Tabela 5 – Comprimento de onda e combinações de bandas do Sentinel-2

Resolução	Nr. Banda	Nome da Banda	Onda Central (nanômetro)	Combinação de Bandas
10 m	B02	Blue (Azul)	490	Cor verdadeira RGB 04/03/02 Falsa cor 1 e 2 RGB 08/04/03
	B03	Green (Verde)	560	
	B04	Red (Vermelho)	665	
	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842	
20 m	B05	Red Edge 1	705	SWIR 1 RGB 12/11/8A
	B06	Red Edge 2	740	
	B07	Red Edge 3	783	
	B08A	Red Edge 4	865	
	B11	SWIR 1	1610	
	B12	SWIR2	2190	
60 m	B01	Aerossol	443	-
	B09	Water Vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	

Fonte: (ESA, 2016b).

No caso do Sentinel-2, foram utilizadas bandas do infravermelho de ondas curtas, do infravermelho próximo e da faixa do visível, para destacar as áreas queimadas e manter visível a vegetação, com a combinação RGB das bandas 11, 8A e 4, e uma resolução espacial de 10 metros para a obtenção dos dados (Figura 5).

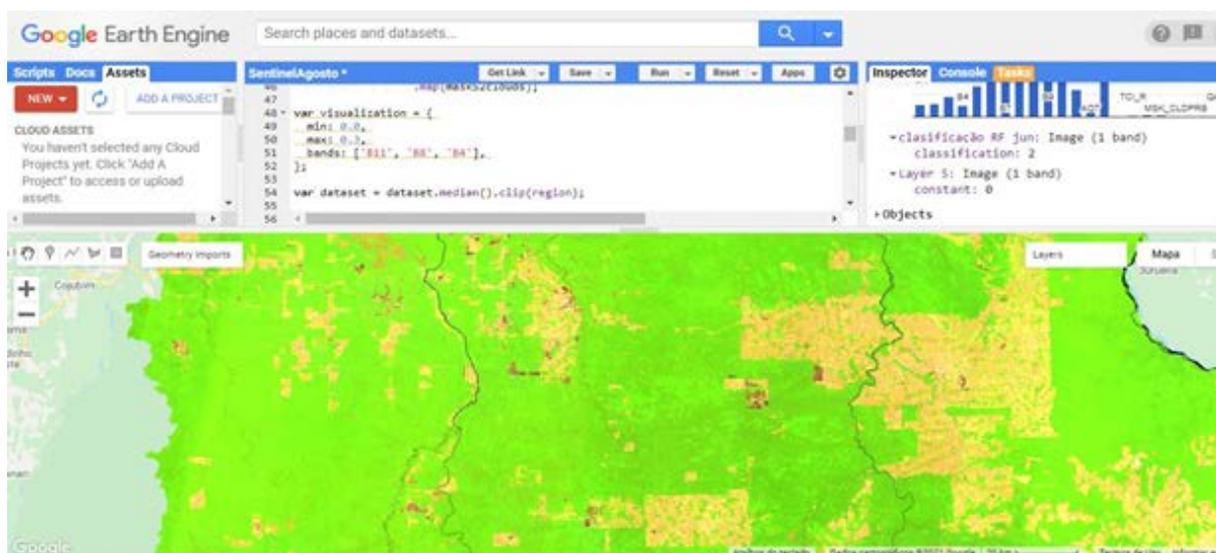


Figura 5 - Imagem Sentinel 2 com combinação RGB das bandas 11, 8A e 4.

5.2.4 MODIS 64A1

Foram utilizadas imagens do produto MODIS 64A1, com resolução espacial de 500 m, que é considerada uma resolução moderada, para o cálculo das áreas queimadas do período de junho a outubro de 2020, no município de Aripuanã. Para destacar áreas queimadas foi utilizado a combinação de cores do MapBiomas (Figura 6), onde as áreas amostradas em vermelho, são as áreas atingidas por fogo, as amarelas são as áreas desmatadas, as áreas em verde são as florestas e em azul são os corpos d'água.

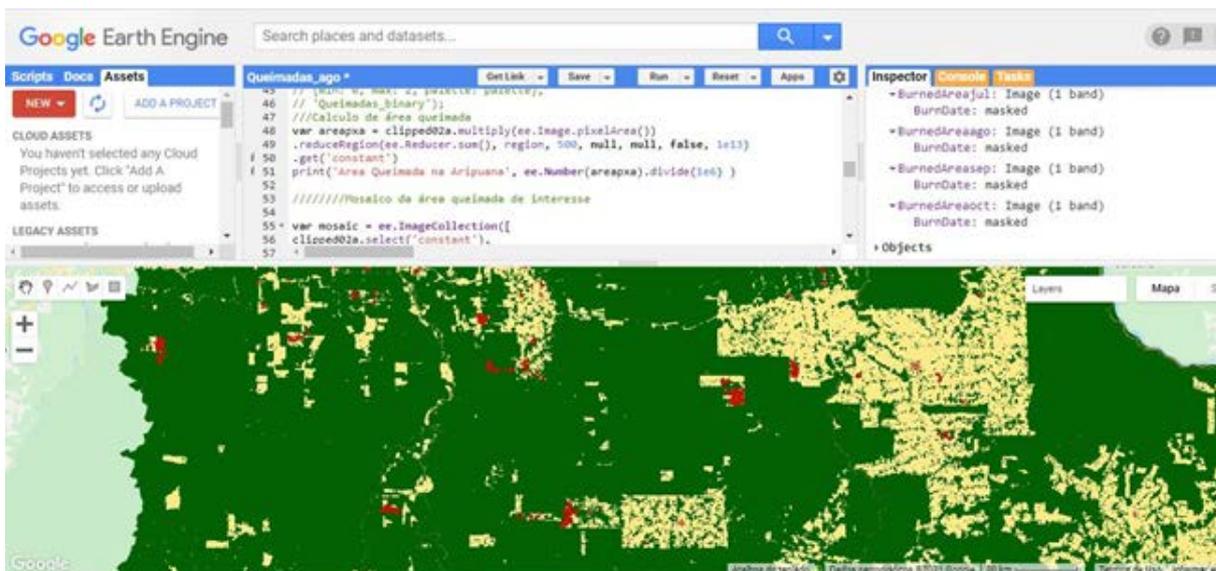


Figura 6 - Imagem MapBiomas com combinação de cores da classificação do MapBiomas 2020.

5.2.5 MapBiomas

Para classificar as áreas atingidas pelo fogo na área do estudo, durante o período de junho a outubro de 2020, foi utilizada a classificação de cobertura e uso do solo do MapBiomas, que é dividida em 6 classes e 24 subclasses (Tabela 6).

Tabela 6 - Classes de cobertura e uso do solo classificação MapBiomias.

Classes de cobertura e uso do solo	
1. Floresta	2. Formação Natural não Florestal
1.1 Floresta Natural	2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa
1.1.1 Formação Florestal	2.2. Formação Campestre
1.1.2 Formação Savânica	2.3. Apicum
1.1.3 Mangue	2.4. Afloramento Rochoso
1.2 Floresta Plantada	2.5. Outras Formações não Florestais
3. Agropecuária	4. Área não vegetada
3.1. Pastagem	4.1 Praia e Duna
3.2. Agricultura	4.2. Infraestrutura Urbana
3.2.1. Lavoura Temporária	4.3. Mineração
3.2.1.1. Soja	4.4. Outras Áreas não vegetadas
3.2.1.2. Cana	5. Corpos D'água
3.2.1.3. Outras Lavouras Temporárias	5.1. Rio, Lago e Oceano
3.2.2. Lavoura Perene	5.2. Aquicultura
3.3. Mosaico de Agricultura e Pastagem	6. Não Observado

Fonte: MapBiomias (2020).

5.3 Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI).

O Índice de Severidade de Seca de Palmer, foi desenvolvido segundo (JACOBI *et al.*, 2013), na década de 60, por Wayne Palmer nos Estados Unidos. O índice consiste na identificação de secas meteorológicas, levando em consideração as variáveis de precipitação, a evapotranspiração e as condições de umidade do solo, o índice baseia-se no balanço entre a demanda e a oferta de água no solo (HEIM JR., 2002).

O objetivo de Palmer ao desenvolver o PDSI, era levar em consideração a duração e a intensidade de água no solo. Onde para o cálculo do Índice de Palmer são utilizados dados, como: temperatura média do ar, precipitação, e informação sobre a capacidade de armazenamento de água no solo (PALMER, 1965).

O índice PDSI tem como objetivo fornecer medidas normalizadas das condições de umidade de modo que comparações usando o índice possam ser feitas entre localidades e entre meses (FERNANDES *et al.*, 2009).

Os valores do PDSI são obtidos a partir de uma equação desenvolvida por Palmer, onde,

$$PDSI_i = 0,897 \times PDSI_{i-1} + \left(\frac{z}{3}\right)$$

PDSI_i = Mês de interesse

PDSI_{i-1} = Valor do índice do mesmo anterior

Z = Índice de anomalia de umidade, que é dado por:

$$Z_i = (P - P_i) - K_i$$

P = Precipitação observada

P_i = Precipitação climatologia apropriada para as condições existentes

K_i = Constante de padronização

Os valores de PDSI costumam variar de -4,0, valor que representa evento de seca extrema, a +4,0, que representa evento de umidade extrema. Palmer também considerou 9 categorias de classificação de eventos, como descritas na (Tabela 7).

Tabela 7 - Classificação do índice PDSI para eventos de seca extrema e umidade extrema.

Legenda	Classes PDSI	Descrição
≥ 4,00	Extremamente úmido	Chuva extrema
3,00 a 3,99	Umidade alta	Chuva severa
2,00 a 2,99	Umidade moderada	Chuva moderada
1,00 a 1,99	Umidade baixa	Chuva fraca
-0,99 a 0,99	Normal	Normal
-1,99 a -1,00	Seca fraca	Seca fraca
-2,99 a -2,00	Seca moderada	Seca moderada
-3,99 a -3,00	Seca severa	Seca severa
≤ -4,00	Seca extrema	Seca extrema

No presente estudo o índice de PDSI foi utilizado para explicar o aumento do número de queimadas durante os meses (junho-outubro) na região de Aripuanã. Com o aumento do desmatamento no bioma Amazônia, os eventos de seca vêm aumentando com o passar dos anos, e conseqüentemente ocorre um aumento no número de incêndios.

5.4 Acurácia

Segundo Mikhail e Ackermann (1976, p. 64) a acurácia é o grau de proximidade de uma estimativa com seu parâmetro (ou valor verdadeiro), ou seja, é a proximidade de um valor experimental com o valor real de um certo dado ou informação, sendo que quanto maior for a acurácia, mais verdadeiro é o resultado da experiência.

Para fazer a acurácia dos valores obtidos pelo estudo de queimadas na região de Aripuanã, foi utilizada uma função interna de cálculo de acurácia disponível na plataforma *Google Earth Engine*. A fórmula gerou 200 pontos aleatórios dentro do mapa, e para classificar a cobertura do solo em que cada ponto se encontra, foram feitas amostras de fogo, água, floresta e desmatamento, para assim obter a acurácia das áreas queimadas e não atingidas pelo fogo na região do estudo.

Foram utilizadas as classificações das áreas atingidas por fogo feitas com dados dos dois satélites (Landsat-8 e Sentinel-2) e o produto MCD64A1, obtidos para a estação seca de 2020, ano em que houve maior número de queimadas na região nos últimos anos. O intuito do cálculo da acurácia dos valores das áreas queimadas na região foi estabelecer qual das três classificações apresentava melhor acurácia, e estimativas mais próximas das áreas atingidas por fogo. A (Figura 7) demonstra os pontos aleatórios usados para verificar e estimar a acurácia das classificações na matriz de confusão.

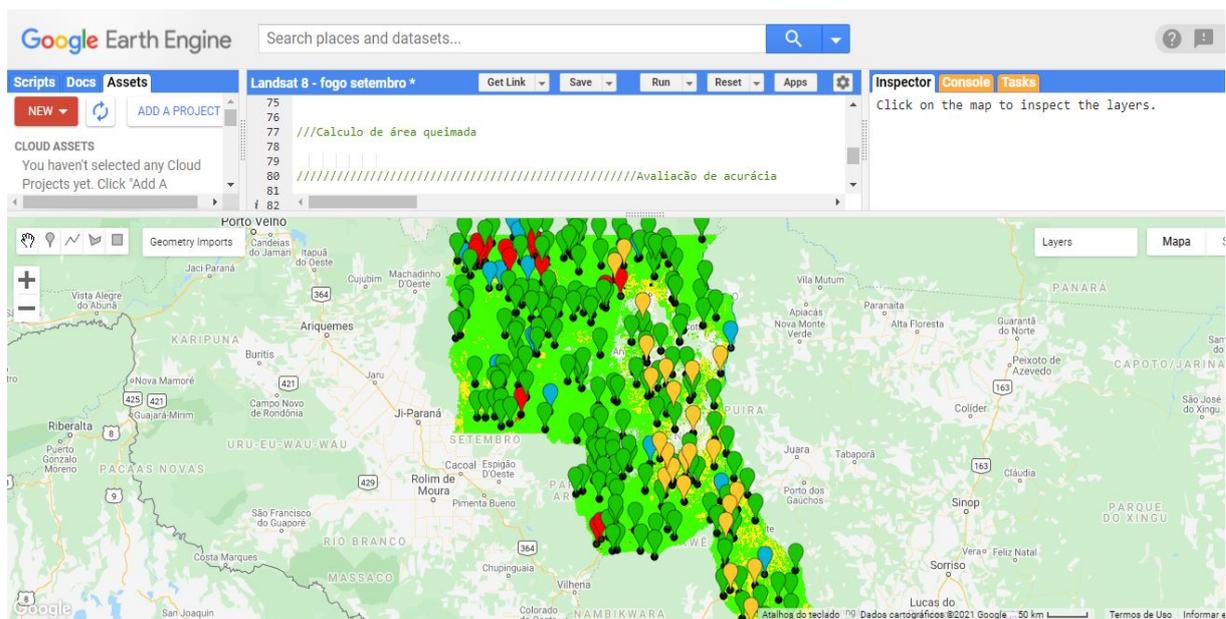


Figura 7 – Pontos aleatórios utilizados para o cálculo da acurácia das classificações das áreas atingidas por fogo na plataforma GEE.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Acurácia dos valores das queimadas

O cálculo de acurácia foi feito com os dados dos 2 sensores (Landsat 8, Sentinel 2) e o com o produto MODIS 64A1, utilizando as imagens do mês de setembro, que foi o que mais apresentou áreas queimadas durante o período do estudo. O cálculo tem o intuito de determinar qual dos três satélites chegou mais perto do valor real das queimadas e assim concluir qual foi o mais eficaz para a amostragem de queimadas na área do estudo. O valor encontrado no Landsat 8, foi de 91,38% de acurácia, ou seja, dos dados de queimadas gerados pelo satélite Landsat 8, 91,38% eram realmente queimadas, enquanto 8,62% não eram, podendo ser outro tipo de cobertura do solo (Figura 8). No satélite Sentinel 2, o valor encontrado foi de 98,68%, ou seja, de toda área amostrada como queimada, 98,68% eram realmente queimadas, enquanto 1,32% não eram (Figura 8). Já com o produto MODIS 64A1, o valor encontrado foi de 68% de área queimada, e 32% de área não queimada. (Figura 8)

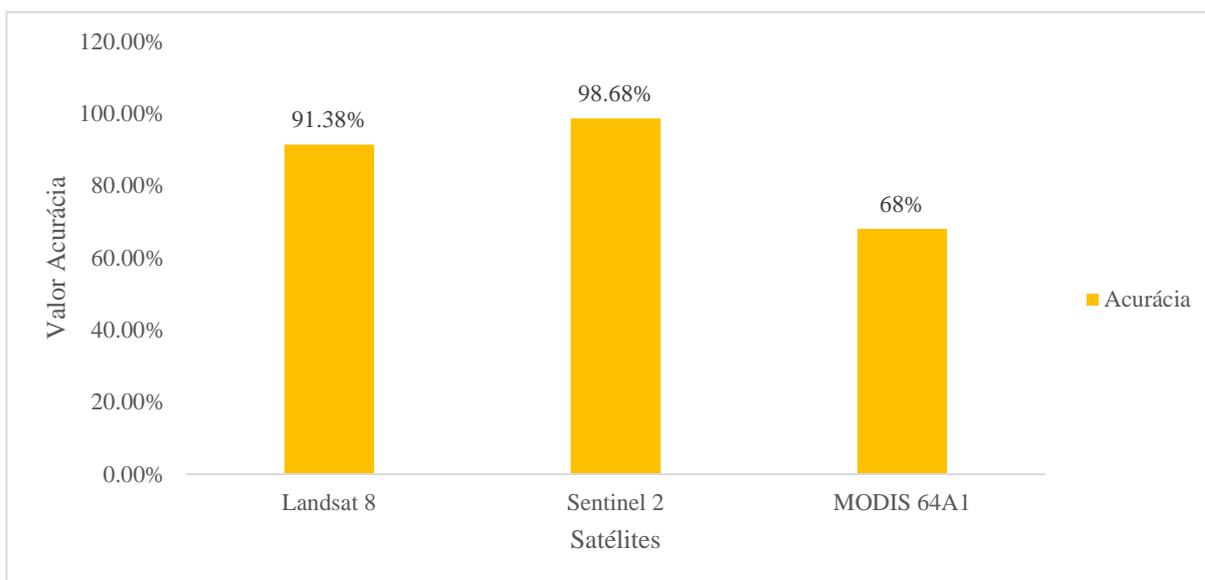


Figura 8 - Acurácia dos valores de queimadas dos satélites Landsat 8, Sentinel 2 e produto MODIS 64A1.

No caso do bioma Amazônia, a dificuldade na geração de dados de áreas atingidas pelo fogo com maior detalhes e acurácia depende de diferentes fatores presentes nas imagens, como: cobertura de nuvens e presença de sombra de nuvens, que apresentam assinatura espectral similar às áreas queimadas, dinâmica sazonal da floresta, disponibilidade de dados para apenas uma parte da área de estudo, variabilidade e desenvolvimento temporal das características espectrais das áreas queimadas, a própria resolução espacial das imagens e produtos, e métodos usados para detectar as cicatrizes de queimada (MIETTINEN *et al.*, 2013; SHIMABUKURO *et al.*, 2015; ARAGÃO *et al.*, 2016; ANDERSON *et al.*, 2017).

O produto MODIS 64A1 que tem resolução espacial de 500 m, áreas queimadas que são iguais ou menores que um pixel do sensor, acabam sendo afetadas e comprometem a qualidade da detecção dessas áreas, podendo subestimar ou superestimar os valores de queimadas, resultando em uma acurácia muito baixa. O Landsat 8 que apresenta resolução espacial de 15 a 100 m, normalmente utilizado com 30 m e o Sentinel 2 com resolução espacial de 10 a 60 m, são considerados satélites de média à alta resolução espacial, portanto são mais adequados para fazer a avaliação de áreas queimadas, pois conseguem captar com mais precisão e detalhes as características da área, tendo maior confiabilidade e acurácia dos dados.

6.2 Diagnóstico de queimadas de junho a outubro de 2020.

Com base na (Figura 9), nota-se que as áreas atingidas pelo fogo nos meses de junho e julho, em grande parte se concentravam mais ao sudeste e sul da área do estudo, e uma pequena parte mais centro da área. No mês de agosto as áreas atingidas pelo fogo começam a crescer mais nas partes Norte e Noroeste, com pequenas áreas ao centro e sudeste do município. Já nos meses de setembro e outubro as áreas atingidas pelo fogo se concentram em grande maioria nas partes Norte e Noroeste, com alguns focos no Oeste e Sudoeste do município.

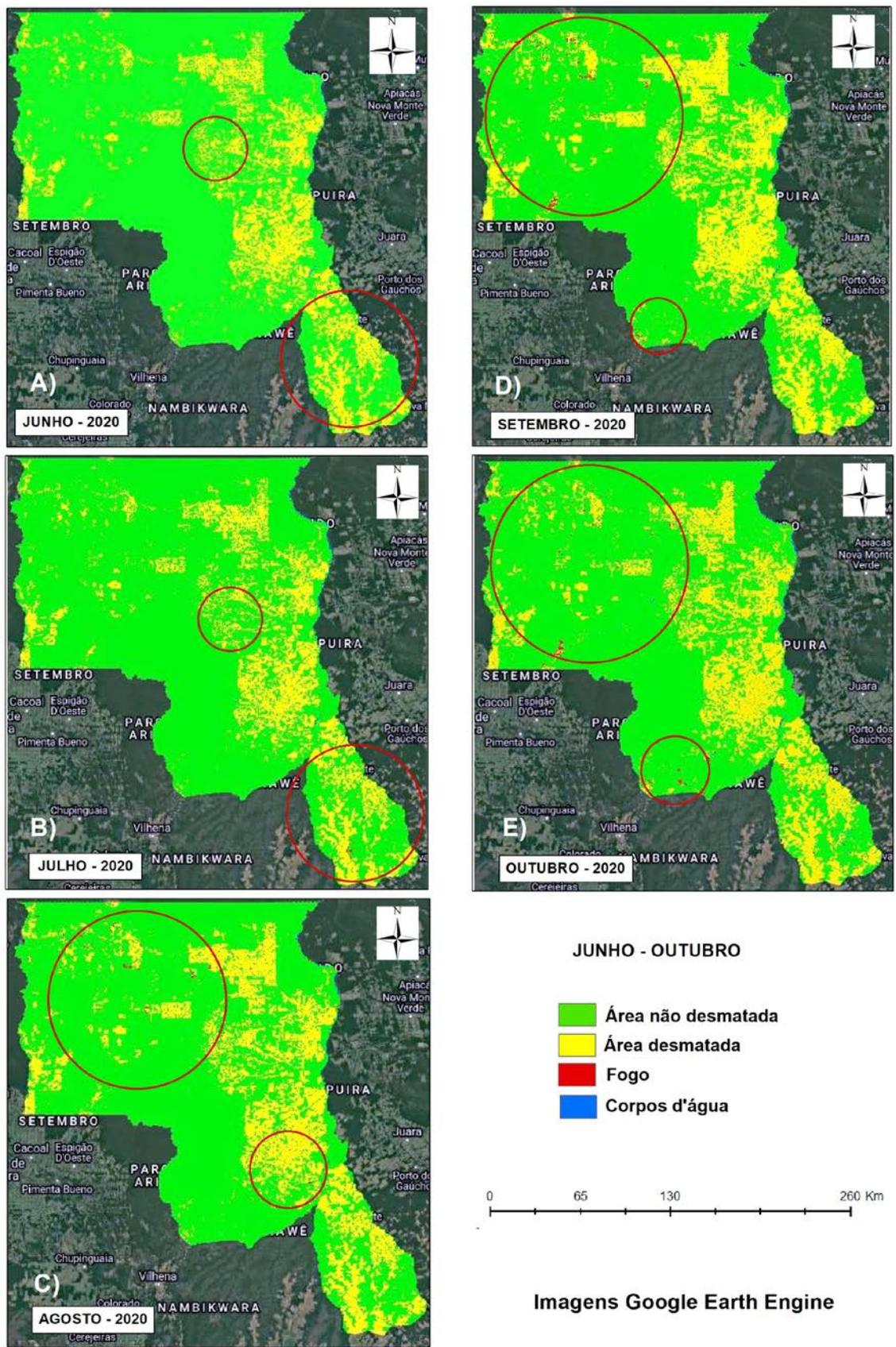


Figura 9 - A) Localização das áreas queimadas no mês de junho. B) Localização das áreas queimadas no mês de julho. C) Localização das áreas queimadas no mês de agosto. D) Localização das áreas queimadas no mês de setembro. E) Localização das áreas queimadas no mês outubro.

Os resultados desta pesquisa indicaram que as áreas atingidas por fogo na região de Aripuanã-MT, aumentaram linearmente entre junho e outubro de 2020. Os dados gerados pelo satélite Landsat-8 indicam que a área atingida por fogo foi de 81 km² em junho, cerca de 0,32% da área total; no mês de julho a área atingida foi de 363 km², 1,45% da área total; no mês de agosto a área atingida foi de 488 km², 1,95% da área total; no mês de setembro a área atingida foi de 813,15 km², cerca de 3,25% da área total; já no mês de outubro a área atingida foi de 775,89 km², 3,10% da área total (Figura 10). O total de área atingida pelo fogo no período de estudo, segundo os dados do Landsat-8, foi de 2.521,04 km², que corresponde a 10,1% da área total da região de Aripuanã.

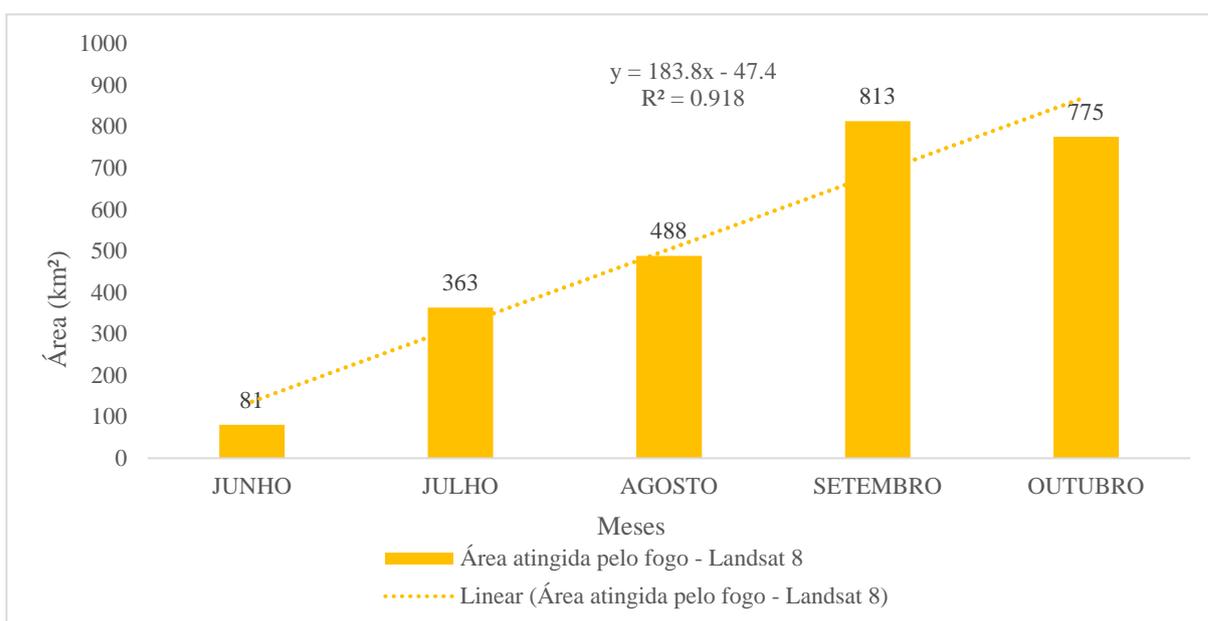


Figura 10 - Área total queimada nos períodos de junho a outubro – Landsat 8.

A partir da análise dos dados gerados pelo satélite Sentinel-2, observou-se que em Junho, o fogo atingiu 156 km², que corresponde a 0,6% da área total do município de estudo; em Julho, a área atingida por fogo foi 244 km², 1% da área total de estudo; em agosto, a área total atingida por fogo foi 380 km², 1,5% da área total de estudo; em Setembro a área atingida por fogo foi 695 km², 2,8% da área total de estudo; já em outubro, a área atingida por fogo foi 712 km², cerca de 2,8% da área total do município (Figura 11). A área total atingida por fogo durante esse período de estudo, segundo os dados do Sentinel-2, foi de 2.187,0 km², que corresponde a 8,7% da área total do estudo.

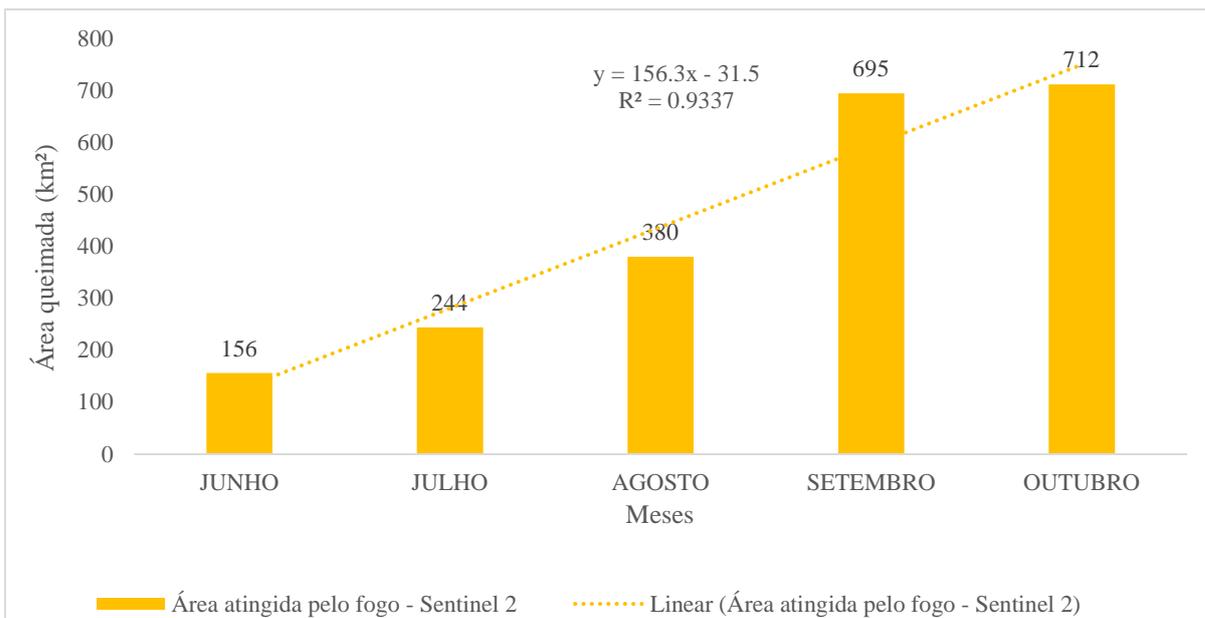


Figura 11- Área total queimada nos períodos de junho a outubro - Sentinel 2.

Com base nos dados obtidos pelo produto MODIS 64A1, estimou-se que a área atingida por fogo em Junho, foi de 9,2 km², que corresponde a 0,04% da área total da região; em Julho o a área atingida por fogo foi de 19,5 km², 0,08% da área total; em Agosto a área atingida por fogo foi de 431,2 km², 1,72% da área total; em Setembro a área atingida foi de 892,1 km², 3,56% da área total; em Outubro a área atingida por fogo foi de 118,3 km², que corresponde a 0,5% da área total do município (Figura 12).

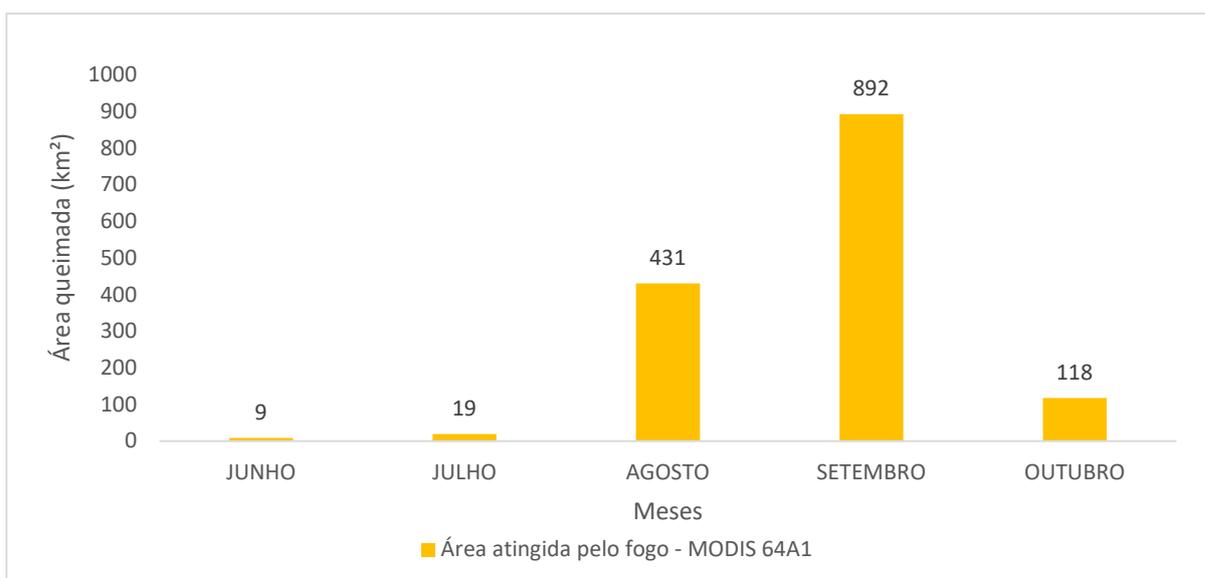


Figura 12 - Área total queimada nos períodos de junho a outubro – Produto MODIS 64A1

A área atingida por fogo aumentou no decorrer do período de estudo, concentrando-se em setembro, o mês com maior número de área queimada detectada em todos os dados e produtos utilizados nesta pesquisa (Landsat-8, Sentinel-2 e produto MODIS MDC64A1).

Esse aumento no número de queimadas nesse período do estudo, é consequência da redução da umidade e aumento da temperatura e o consequente aumento da severidade da seca, especialmente no final do período (setembro e outubro), que deixa a vegetação local mais suscetível à ocorrência do fogo. Esse aumento das queimadas no período da seca, pode ser explicado pelo índice PDSI (Índice de Severidade de Seca de Palmer), onde a variável de precipitação e a disponibilidade de água no solo são levadas em consideração, o que justifica o aumento ou a diminuição do índice PDSI. Como os períodos de junho até outubro, costumam ser a época da seca no Noroeste do Mato Grosso, o índice PDSI tende a aumentar nestes meses, como podemos observar nas (Figuras 13 e 14).

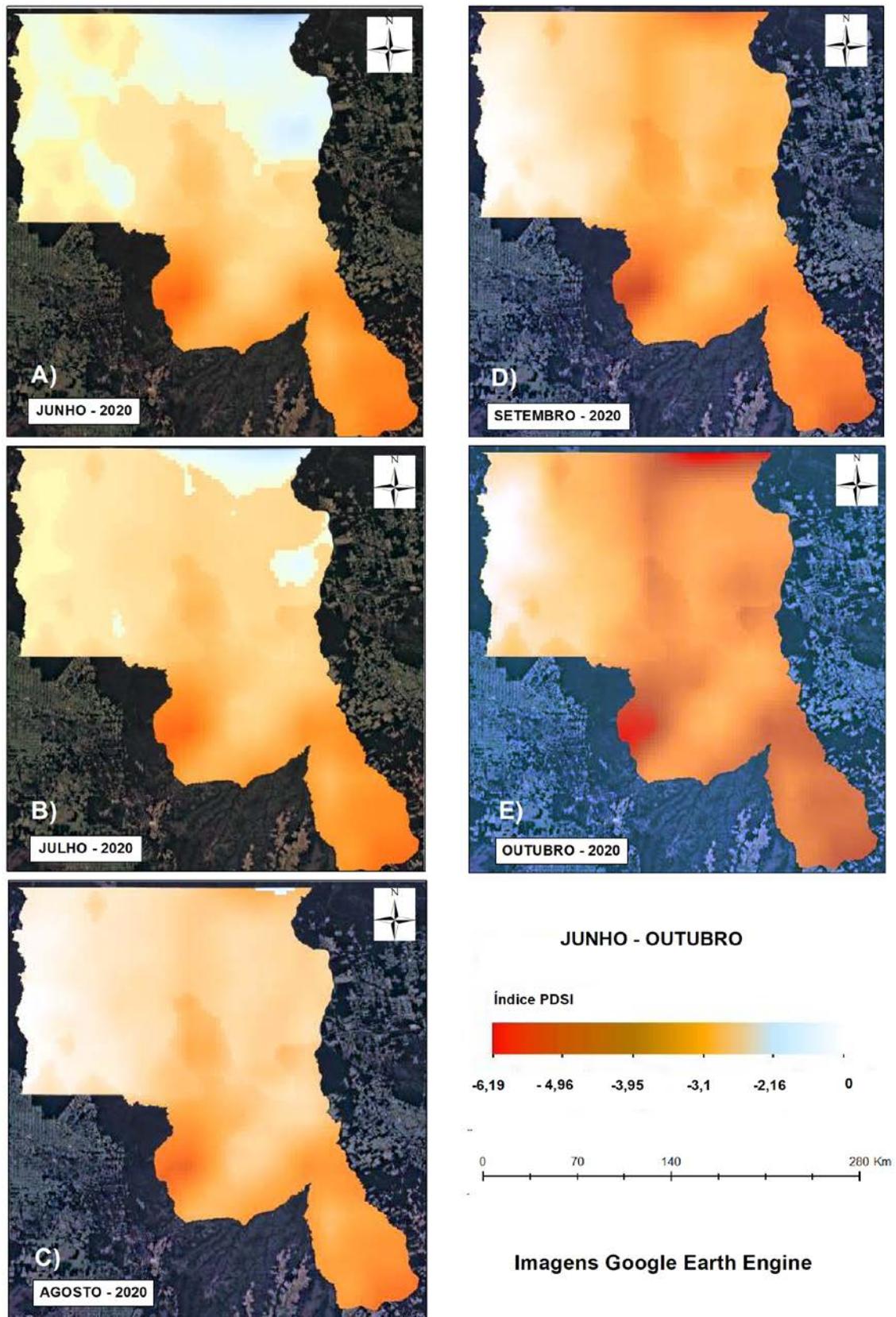


Figura 13 – A) Imagem do aumento do índice PDSI (Índice de Severidade de Seca de Palmer) do mês de junho. B) Imagem do aumento do índice PDSI do mês de julho. C) Imagem do aumento do índice PDSI do mês de agosto. D) Imagem do aumento do índice PDSI do mês de setembro. E) Imagem do aumento do índice PDSI do mês de outubro de 2020.

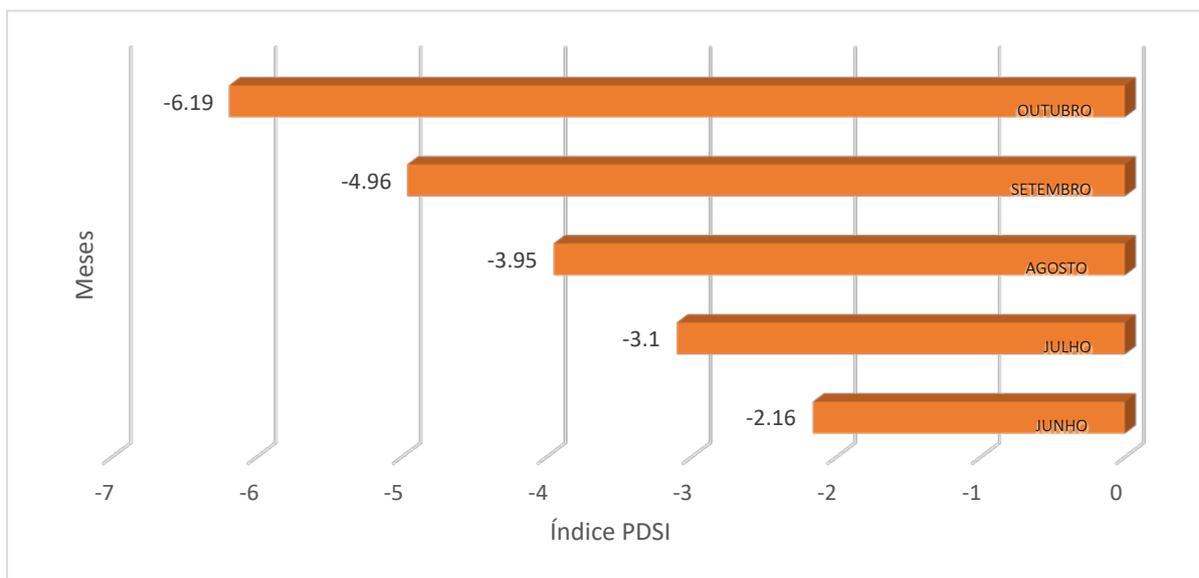


Figura 14 - Índice de severidade de Palmer (PDSI) para o período de junho a outubro de 2020.

Pode-se observar nas (Figuras 13 e 14), que o índice PDSI fica mais crítico (negativo) ao longo do período estudado. O mês de junho, por exemplo, tem um índice de valor -2,16, considerado uma seca moderada, já em setembro e outubro, os valores se tornam críticos, atingindo valores de -4,96 no mês de setembro e -6,19 no mês de outubro, sendo classificados como evento de seca extrema. Apesar do mês de outubro apresentar valores mais críticos de PDSI, não foi o mês com o maior número de queimadas, isso porque no mês de outubro iniciam-se as chuvas, diminuindo as áreas atingidas pelo fogo.

Além da influência dos períodos secos, outro fator que também ajuda a aumentar a ocorrência de queimadas na região é o desmatamento, que é executado ao longo dos meses mais seco do ano. O Noroeste do Mato Grosso, onde está localizado o município de Aripuanã, é muito conhecido pelas atividades de extração de madeira, expansão agrícola e de pastagens. Cerca de 34,9% do PIB em Aripuanã é concentrado em atividades de agropecuária. E para a substituição ou manejo de áreas florestadas, o fogo é muito usado como ferramenta cultural e tradicional da prática agrícola por uma grande variedade de grupos étnicos (GOLDAMMER 1988).

Com isso a ocorrência dos incêndios florestais frequentes na Amazônia está associada, a mudança no uso e cobertura do solo e os eventos de seca extrema, que tornam as florestas temporariamente inflamáveis, ocasionando a potencialização do fogo, onde pode se tornar incontrollável e potencializando os impactos do fogo (ALENCAR *et al.* 2006; CANO-CRESPO *et al.* 2015).

6.3 Análise de persistência das queimadas

Além do número das áreas atingidas por fogo mensalmente, estimou-se as áreas queimadas que ficaram persistente na paisagem ao longo do período de estudo. No caso da classificação usando dados do satélite Landsat-8, estimou-se que a área total atingida por fogo durante o período do estudo foi de 2.521,04 km², sendo que 390,54 km² desse total foi de fogo persistente durante os meses de junho a outubro, isso corresponde a 15,5% da área total queimada. Analisando a classificação usando dados do satélite Sentinel-2, o total de área queimada detectada foi de 2.198,00 km², onde 461,92 km² foi de fogo persistente durante os meses, que corresponde a 21,0% da área total atingida por fogo. Com base nos dados do produto MODIS MCD64A1, a área total queimada durante o período do estudo foi de 1.470,42 km², mas diferente dos outros satélites, não houve persistência das áreas queimadas no período do estudo. Isso pode ser explicado pelo fato de que o produto MCD64A1 registra a ocorrência do fogo em determinada data (dia juliano do ano) sem repetir eventuais persistências da área queimada na superfície de um determinado ano de classificação das áreas queimadas (*burned areas*) (Tabela 8).

Tabela 8 - Persistência das áreas atingidas por fogo na paisagem no período (junho a outubro de 2020) e área de estudo (município de Aripuanã-MT).

	Total de área queimada (km ²)	Persistência (km ²)	% da área total queimada
Landsat 8	2521,04	390,54	15,5%
Sentinel 2	2187,00	461,92	21,1%
MODIS 64A1	1470,42	0	0%

6.4 Análise de uso e cobertura do solo atingidos pelo fogo.

A partir da escolha da classificação que apresentou melhor acurácia na detecção das áreas atingidas por fogo (Sentinel-2) na área de estudo, utilizou-se os dados do período de junho a outubro para determinar que tipo de uso e cobertura do solo foram atingidos nesse período. As classes de cobertura e uso da terra produzidos pelo projeto MapBiomass foram tomadas como base desta classificação, apresentando 9 classes para a área estudada (Tabela 9).

Tabela 9 - Classes de uso e cobertura da terra atingidas por fogo no município de Aripuanã-MT, em 2020.

Uso e cobertura da terra	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	TOTAL
	Área (km ²)					
3- Formação Florestal	20,00	59,00	148,00	235,00	238,00	700
4- Formação Savânica	2,00	12,00	4,00	12,00	80,00	110
12- Formação Campestre	21,00	62,00	15,00	20,00	30,00	148
15- Pastagem	50,00	83,00	179,00	419,00	312,00	1043
24- Infraestrutura Urbana	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	3
25- Outras Áreas não Vegetadas	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1
33- Rio, Lago e Oceano	5,00	19,00	31,00	3,00	36,00	94
39- Soja	46,00	6,00	0,00	0,00	10,00	62
41- Outras Lavouras Temporárias	11,00	2,00	2,00	5,00	6,00	26
Total de área queimada	156,00	244,00	380,00	695,00	712,00	2187,00

Pode-se observar que no período de junho a outubro de 2020, as áreas mais atingidas pelo fogo durante o período do estudo na região de Aripuanã, foram as formações florestais e as pastagens, só essas duas classificações de uso do solo, corresponde 79,70% de toda a área atingida pelo fogo. De forma mais detalhada, as classes de uso e cobertura do solo atingidas pelo fogo foram: Formação Florestal com um total de 700 km² de área queimada, que corresponde a 32,1% da área total queimada; Formação Savânica com 110 km², que corresponde a 5,0% da área total queimada; Formação Campestre com 148 km², que corresponde a 6,8% da área total queimada; Pastagem com 1043 km², que corresponde a 47,7% da área total queimada; Infraestrutura Urbana, com 3 km², que corresponde a 0,1% da área total; Outras Áreas não Vegetadas com 1 km², que corresponde 0,1% da área total; Rio, Lago e Oceano com 94 km², que corresponde a 4,3% da área total queimada; Soja com 62 km², que corresponde a 2,8% da área total queimada; Outras Lavouras Temporárias com 26 km², que corresponde a 1,2% da área total queimada no período.

7 CONCLUSÃO

Os resultados da classificação das áreas atingidas por fogo em 2020 na região de Aripuanã, no período de junho a outubro de 2020, indicam que houve alterações significativas na vegetação nativa por causa das queimadas, onde as formações florestais e as pastagens foram os tipos de cobertura e uso da terra mais atingidos por fogo, principalmente no Noroeste e Norte do município. O principal fator da ocorrência do fogo pode estar relacionado às condições de severidade da seca observada naquele ano, revelada pelos valores do índice PDSI, que indica que a vegetação, de um modo geral, está muito mais susceptível ao fogo.

O presente estudo indica também que o período crítico para ocorrência do fogo está concentrado entre agosto e setembro, quando esforços para o controle e combate ao fogo devem ser concentrados.

A detecção de áreas atingidas por fogo usando dados do satélite Sentinel-2 apresentou a melhor acurácia, provavelmente porque tem maior resolução espacial (10 m), espectral temporal (5 a 10 dias), comparado ao Landsat-8 e MODIS 64A1. O Sentinel-2 consegue captar maiores detalhes e com uma maior qualidade, sendo o sensor mais adequado para a avaliação e mapeamento de áreas atingidas por fogo na área de estudo. Esta metodologia pode, com as devidas adequações, ser aplicada em outras áreas e biomas para esta finalidade, com bons resultados para apoiar as atividades de monitoramento e controle das queimadas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ANDREAE, M. O.; MERLET, P. **Emission of trace gases and aerosols from biomass burning**, *Global Biogeochemical Cycles*, n. 15, v.4, 2001.
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; DIAZ, M.C.V. 2006. **Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and Non-ENSO years: Area burned and committed carbon emissions**. *Earth Interactions*, 10: 1–17.
- ARAGÃO, L.E.O.C.; SHIMABUKURO, Y.E. 2010. **The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD**. *Science*, 328: 1275–1278.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERSON, L. O.; LIMA, A.; ARAI, E. Fires in Amazonia. In: NAGY, L.; ARTAXO, P.; FORSBERG, B. R. (Eds). **Interactions between biosphere, atmosphere, and human land use in the amazon basin: an introduction**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2016. p.301-229.
- ANDERSON, L. O.; CHEEK, D.; ARAGAO, L. E.; ANDERE, L.; DUARTE, B.; SALAZAR, N.; LIMA, A.; DUARTE, V.; ARAI, E. **Development of a point-based method for map validation and confidence interval estimation: a case study of burned areas in Amazonia**. *Journal of Remote Sensing & GIS*, v. 6, n. 1, p. 1–9, 2017.
- ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C.; GLOOR, M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SAATCHI, S. S.; MALHI, Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; BARLOW, J.; BERENGUER, E.; DUARTE, V. **Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought**. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 29, n. 10, p. 1739–1753, oct 2015. ISSN 08866236.
- BATISTA, A. C. **Detecção de incêndios florestais por satélite**. *Revista Floresta*, Mai/Ago, 2004.
- BLACKBRIDGE. **The RapidEye Red Edge Band**. Black Bridge, p. 1–6, 2012.
- CANO-CRESPO, A.; OLIVEIRA, P.J.C.; BOIT, A.; CARDOSO, M.; THONICKE, K. 2015. **Forest edge burning in the Brazilian Amazon promoted by escaping fires from managed pastures**. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120: 2095–2107.
- CASTRO, R. M. C. **Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX: vertebrados**. In: JOLY, C. A.; BICUDO, C. E. (Orgs.). *Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX*. São Paulo: FAPESP, 1998. v. 6.

- COCHRANE, M. A.; SOUZA, C. M. **Linear mixture model classification of burned forests in the Eastern Amazon**. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, n. 17, p. 3433–3440, 1998.
- COCHRANE, M. A. **Fire science for rainforests**. *Nature* 42: 913-919. 2004.
- CORREA, C. R.; ALENCAR, R. C. C. **Focos de queimadas em unidades de conservação**. Anais. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013.
- DELEGIDO, J. *et al.* **Brown and green LAI mapping through spectral indices**. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 35, p. 350-358, 2015.
- DIEGUES, A. **O mito moderno da natureza intocada**. São Paulo: Annablume, 2002.
- DIRZO, R.; RAVEN, P. H. **Global state of biodiversity and loss**. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 28, p. 137-167, 2003.
- DONG, T. *et al.* **Modified vegetation indices for estimating crop fraction of absorbed photosynthetically active radiation**. *International Journal of Remote Sensing*, v. 36, n. 12, p. 3097-3113, 2015.
- DRUSCH, M. *et al.* **Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services**. *Remote Sensing of Environment*. v. 120, p. 25-36, 2012.
- ESA - European Space Agency. **Sentinels Scientific Data Hub**, 2017. Disponível em: <<https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>>. Acesso em: 08 out. 2021.
- FERNANDES, D. S. *et al.* **Índices para a quantificação da seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 45 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 244).
- FIELD, C.B.; BEHRENFELD, M.J.; RANDERSON, J.T.; FALKOWSKI, P. **Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components**. *Science*, v. 281, p. 237-240, 1998.
- FORNACCA, D; REN, G; E XIAO, W. **Performance of Three MODIS Fire Products (MCD45A1, MCD64A1, MCD14ML), and ESA Fire_CCI in a Mountainous Area of Northwest Yunnan, China, Characterized by Frequent Small Fires**. *remote sensing*. 2017.
- FLORENZANO, T, G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.
- FRAMPTON, W. J. *et al.* **Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation**. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing*. v. 82, p. 83-92, 2013.

- FRANÇA, D. DE A.; FERREIRA, N. J. **Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas.** In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais... Goiânia, GO: Inpe, 2005.
- GANEM, K. A. **Classificação da cobertura do solo na caatinga a partir de imagens do Landsat-8 e da ferramenta Google Earth Engine: uma comparação entre dados com e sem correção atmosférica.** 2017. 202f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- GIGLIO, L.; LOBODA, T.; ROY, D.P.; QUAYLE, B.; JUSTICE, C.O. **An active-fire based burned área mapping algorithm for the MODIS sensor.** Remote Sens. Environ. 2009, 113, p.408– 420.
- GIGLIO, L., JUSTICE, C., BOSCHETTI, L., ROY, D. (2015). **MCD64A1 MODIS / Terra + Aqua Área queimada mensal L3 Global 500m SIN Grid V006 [Conjunto de dados].** NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Acessado em 2021-09-16 em <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD64A1.006>.
- GOLDAMMER, J.G. 1988. **Rural land-use and wildland fires in the tropics.** Agroforestry Systems 6: 235-252.
- GORELICK, Noel. **Google Earth Engine.** In: EGU General Assembly Conference Abstracts. 2013. p. 11997.
- GORELICK, N. *et al.* **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.** Remote Sensing of Environment, Elsevier, v. 202, p. 18–27, 2017.
- HEIM, R.R. **A review of twentieth: century drought indices used in the United States.** Bulletin of the American Meteorology Society, v. 83, p. 1149–1163, 2002.
- HUMBER, M; BOSCHETTI, L; GIGLIO, L & JUSTICE, C. **Spatial and temporal intercomparison of four global burned area products,** International Journal of Digital Earth. 2018.
- IBGE. **Diagnostico Ambiental da Amazonia legal.** (CD-ROM) Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e estatística, 1997. IBGE-INSTITUTO BRASLEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geoestatísticas revelam patrimônio ambiental da Amazônia legal, 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1887&id_pagina=1. Acessado em: 2mar. 21.

- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira - DEGRAD**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/degrad/>>.
- IRONS, J. R.; DWYER, J. L.; BARSÍ, J. A. **The next Landsat satellite: The Landsat data continuity mission**. *Remote Sensing of Environment*, v. 122, p. 11-21, 2012.
- ITTO. **ITTO guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests**. Japan: ITTO, 2002. 86p. (ITTO Policy Development Series N. 13).
- JACOBI, J. *et al.* **A tool for calculating the Palmer drought indices**. *Water Resources Research*, v. 49, p. 6086–6089, 2013.
- JOLLY, C.A. & BICUDO C.E.M. (org.) **Biodiversidade do estado de São Paulo: síntese do conhecimento final do século XX**. São Paulo FAPESP, 1998.
- KAUFFMAN, J. B. 1991. **Survival by sprouting following fire in tropical forests of the eastern Amazon**. *Biotropica* 23 (3): 219 - 224.
- LABGIS, Núcleo de Geotecnologias da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. **O QUE É O GOOGLE EARTH ENGINE E COMO VOCÊ PODE USAR?** 2018. Disponível em: <https://www.labgis.uerj.br/noticias/o-que-e-o-google-earth-engine-e-como-voce-pode-usar> . Acesso em: 01 fev. 2021.
- LENTINI, M., VERISSIMO, A., PEREIRA, D. **A expansão madeireira na Amazônia. AMAZON**, 2005. Disponível em: < amazon.org.br >. Acesso em: 10 de abr. de 2021.
- MAPBIOMAS. (2016). **What is MapBiomass**. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/pages/about/about>>. Acessado em 31 março 2021.
- MATRICARDI, Eraldo AT *et al.* **Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery**. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, n. 5, p. 1117-1129, 2010.
- MIETTINEN, J.; HYER, E.; CHIA, A. S.; KWOH, L. K.; LIEW, S. C. **Detection of vegetation fires and burnt areas by remote sensing in insular Southeast Asian conditions: current status of knowledge and future challenges**. *International Journal of Remote Sensing*, v. 34, n. 12, p. 4344–4366, 2013.
- MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. **Observations and Least Squares**. *University Press of America*, 1976. 497 p.
- MOUILLOT, F.; SCHULTZ, M.G.; YUE, C.; CADULE, P.; TANSEY, K.; CIAIS, P.; CHUVIECO, E. **Ten years of global burned area products from spaceborne remote**

- sensing—A review: Analysis of user needs and recommendations for future developments.** *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2014, 26, 64–79.
- NASA, N. A. and S. A. MODIS - **Moderate Resolution Imaging Espectroradiometer.** 2009.
- NOVO, E. M. L. M. (1988). **Sensoriamento remoto princípios e aplicações.** 2ª ed. São Paulo, SP. Edgard Blücher. 308p.
- PADILLA, M.; STEHMAN, S.V.; RAMO, R.; CORTI, D.; HANTSON, S.; OLIVA, P.; ALONSO-CANAS, I.; BRADLEY, A.V.; TANSEY, K.; MOTA, B.; *ET AL.* **Comparing the accuracies of remote sensing global burned area products using stratified random sampling and estimation.** *Remote Sens. Environ.* 160, 114–121. 2015.
- PALMER, W. C. **Meteorological drought.** Washington: U.S. Department of Commerce, 1965. 58p. (U.S. Department of Commerce. Research paper, 45).
- PEREIRA, J.M.C.; CHUVIECO, E.; BEAUDOIN, A. **Remote sensing of burned areas: a review.** Ed. A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires, 1997.
- PINHEIRO, P. S.; BORGES, E. F. **Quantificação e análise da distribuição espacial dos focos de calor na sub-bacia do rio grande-BA.** Anais. Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – Geonordeste, 2014.
- QUINTANO, C.; FERNANDEZ-MANSO, A.; ROBERTS, D. A. **Burn severity mapping from Landsat MESMA fraction images and Land Surface Temperature.** *Remote Sensing of Environment*, v. 190, p. 83–95, 2017.
- RUIZ, J.; LÁZARO, J; CANO, I E LEAL, P. **Burned Area Mapping in the North American Boreal Forest Using Terra-MODIS LTDR (2001–2011): A Comparison with the MCD45A1, MCD64A1 and BA GEOLAND-2 Products.** *Remote Sens*, 6, 815-840, 2014.
- SANTOS, C. A. P. d; SOUZA, U. B. d; SILVA, W. L. **Quantificação dos focos de calor na Mesorregião do Extremo Oeste Baiano.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba. Anais. São Jose dos Campos: INPE, 2011.
- SIBANDA, M.; MUTANGA, O.; ROUGET, M. **Examining the potential of Sentinel-2 MSI spectral resolution in quantifying above ground biomass across different fertilizer treatments.** *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 110, p. 55- 65, 2015.

- SILVA, T. B.; ROCHA, W. J. S. F.; ANGELO, M. F. **Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA.** Anais. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013.
- SILVESTRINI, R.A.; SOARES-FILHO, B.S.; NEPSTAD, D.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ASSUNÇÃO, R. 2011. **Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation.** Ecological Applications, 21: 1573–1590.
- SLATER, P. N. **Remote sensing: optics and optical systems.** Reading: Addison-Wesley, 1980. 575 p.
- SOTHE, C.; LIESENBERG, V.; DE ALMEIDA, C. M.; SCHIMALSKI, M. B. **Abordagens para classificação do estágio sucessional da vegetação do parque nacional de São Joaquim empregando imagens landsat-8 e rapideye.** Boletim de Ciências Geodésicas, v. 23, n. 3, 2017b.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2013. **Landsat 8.** U.S. Geological Survey Fact Sheet 2013–3060, 4 p.
- UHL, C. E J. B. KAUFFMAN. 1990. **Deforestation, fire susceptibility and potential tree responses to fire in the eastern Amazon.** Ecology 71 (2): 437 - 449.
- WHITMORE, T. C. **An introduction to tropical rain forests.** Oxford, Oxford University Press. 1990.
- ZHANG HJ, HAN XY, DAI S. 2013. **Fire occurrence probability mapping of Northeast China with binary logistic regression model.** IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 6. 121–127.
- ZIDANE, I; LHISSOU, R; BOULI, A; Mabrouki, M. **An improved algorithm for mapping burnt areas in the Mediterranean forest landscape of Morocco.** J. For. Res. 2017.