

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

MONIQUE CALDERARO DA ROCHA SANTOS

**Análise do regime pluviométrico e dos focos de queimadas ao redor da BR-163 nos
municípios de Altamira/PA, Itaituba/PA e Novo Progresso/PA**

**Analysis of rainfall and fire outbreaks around BR-163 in the municipalities of
Altamira/PA, Itaituba/PA and Novo Progresso/PA - Brazil**

São Paulo

2022

MONIQUE CALDERARO DA ROCHA SANTOS

Análise do regime pluviométrico e dos focos de queimadas ao redor da BR-163 nos municípios de Altamira/PA, Itaituba/PA e Novo Progresso/PA

Trabalho de Graduação Individual II (TGI) apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

S237a Santos, Monique Calderaro da Rocha
Análise do regime pluviométrico e dos focos de
queimadas ao redor da BR-163 nos municípios de
Altamira/PA, Itaituba/PA e Novo Progresso/PA /
Monique Calderaro da Rocha Santos; orientador Emerson
Galvani - São Paulo, 2022.
90 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual)- Faculdade
de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

1. Precipitação atmosférica. 2. Desmatamento. 3.
Incêndios florestais. 4. Mudança climática. I.
Galvani, Emerson, orient. II. Título.

SANTOS, Monique Calderaro da Rocha. **Análise do regime pluviométrico e dos focos de queimadas ao redor da BR-163 nos municípios de Altamira/PA, Itaituba/PA e Novo Progresso/PA.** Trabalho de Graduação Individual II (TGI) apresentado à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Emerson Galvani Instituição Universidade de São Paulo (USP)

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof^a. Dr^a. Fernanda Padovesi Fonseca Instituição Universidade de São Paulo (USP)

Julgamento _____ Assinatura _____

Dr^a. Maria Cristina Celuppi Instituição Universidade de São Paulo (USP)

Julgamento _____ Assinatura _____

Dedico este trabalho às mulheres brasileiras: aquelas que são cientistas, professoras, mães, artistas, desenvolvedoras, maquiadoras, psicólogas, engenheiras, donas de casa, vereadoras, deputadas, ministras, presidentas, e são, sobretudo, livres.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Silvia, e ao meu irmão, Vitor, por apoiar e acreditar nos meus sonhos junto comigo.

Ao meu pai, Carlos, por estar ao meu lado e comemorar minhas conquistas.

Ao Prof. Dr. Emerson Galvani, pela orientação e acompanhamento durante toda a graduação.

À Prof^ª. Dr^ª. Fernanda Padovesi Fonseca, por ser quem é, por todas as oportunidades e todo aprendizado conduzido a mim durante minha trajetória na graduação.

Aos meus orientadores de Iniciação Científica, Prof. Dr. Alfredo Pereira de Queiroz Filho, Dr. Júlio Barboza Chiquetto, Dr^ª. Agnes Silva de Araújo e Prof. Dr. Marcelo Antunes Nolasco, pela imensa contribuição para meu crescimento pessoal, científico e acadêmico.

À Dr^ª. Waldirene Ribeiro do Carmo, por ser uma grande amiga e orientadora extraoficial. A Geografia não existe sem você.

À toda equipe da Comissão de Cultura e Extensão, em nome do Prof. Dr. Yuri Tavares Rocha, por proporcionar atividades de extensão engrandecedoras e pela oportunidade de participar da Feira USP e as Profissões.

Aos meus amigos da Geografia para a vida, aqui representados pelo nome de Arielly Tomazia Costa, Igor Renan de Camargo Vieira Gomes, Isabella Zarattini Brandão e Leonardo Busico Barozzi, com quem compartilhei momentos incríveis nesses cinco anos.

Aos meus amigos de Cachoeira Paulista para a vida, aqui representados pelo nome de Adrianny, Ana Clara, Ana Beatriz, Gabriela, Henrique, Jenifer e Nakanishi, que se mantiveram presentes mesmo com mais de 200 quilômetros de distância e idas e vindas do interior para a capital.

À Edimara Felizardo de Oliveira, minha psicóloga, por trazer um pouco de luz e tranquilidade para minha vida, por me fazer enxergar meu potencial e acreditar nele e por me mostrar a importância do autocuidado.

Aos Professores de Geografia, em nome de Jane Damaris e Márcio Guimarães, que me apresentaram uma nova forma de ensinar e de fazer ciência, e que são responsáveis pela minha grande decisão de seguir em um curso fascinante.

Aos Professores de História, em nome de Caroline Souza e Rafael Pirata, por sempre estarem disponíveis e instigarem a vontade de conhecer mais sobre todas as entrelinhas de uma aula.

Aos Professores de Português, em nome de Érika Pettermann, que em uma aula de gramática conseguia encaixar o mundo todo de forma magistral.

Ao Cursinho Popular Elza Soares, seus professores e colaboradores, por permitirem que minha primeira experiência como professora de Geografia fosse para alunos do Vale do Paraíba, e por serem um instrumento de transformação na vida de tanta gente.

A todos aqueles que seguem na resistência e na luta contra o fascismo, por um Brasil mais justo, com comida na mesa, educação para todos e pela valorização da ciência, em nome de Ailton Krenak, Ricardo Galvão, Txai Suruí, Sônia Guajajara, Anielle Franco, Fernando Haddad, Dilma Rousseff, Thainara Faria, Luna Zarattini e Nilto Tatto.

Ao Professor Paulo Ortolano, um agradecimento e uma homenagem, por ter sido tudo o que um professor deve ser na vida dos alunos, sua memória seguirá sempre viva.

Por fim, à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, pela oportunidade de realização do melhor curso que eu poderia ter escolhido.

*“Cada terra [indígena] demarcada é uma nova área de
proteção ambiental. A estes brasileiros e brasileiras
devemos respeito e com eles temos uma dívida
histórica.”*

Luiz Inácio Lula da Silva

RESUMO

SANTOS, Monique Calderaro da Rocha. **Análise do regime pluviométrico e dos focos de queimadas ao redor da BR-163 nos municípios de Altamira/PA, Itaituba/PA e Novo Progresso/PA**. 2022. 90 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

O avanço do desmatamento e dos focos de queimadas na Amazônia é um problema atual e que aumentou exponencialmente nos últimos anos. Essa pesquisa tem como objetivo analisar os padrões no incremento do desmatamento nos municípios de Altamira/PA, Novo Progresso/PA e Itaituba/PA, avaliar o número de focos de queimadas na área no período de 2002 a 2020 e buscar relações com o regime pluviométrico no local. Para isso foi feita a análise de três pluviômetros na área de estudo, foram elaborados mapas a partir das informações disponibilizadas pela ANA (Agência Nacional de Águas), pelo MapBiomas e pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), responsável pelos programas PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite) e DETER (Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real) e foi calculada a correlação entre o avanço do desmatamento, os focos de queimadas e os dados de precipitação. O incremento no desmatamento se elevou a partir de 2018 e as Terras Indígenas demarcadas representam uma barreira para esse avanço. A correlação entre o aumento da área desmatada e os totais pluviométricos foi fraca e positiva para um pluviômetro (0,10733), e moderada e negativa para os outros dois instrumentos avaliados (-0,42802 e -0,62744), o que indica uma moderada diminuição das chuvas ao longo dos anos conforme a área desmatada aumenta. A correlação entre os focos de queimadas e os totais pluviométricos anuais são consideradas bem fracas e negativas (-0,12077; -0,10126 e -0,18477), ou seja, enquanto uma variável aumenta, a outra diminui. Já a correlação com o número de dias sem chuva no ano são fracas e positivas (0,19532; 0,08173 e 0,28347), portanto, ambas as variáveis aumentam e diminuem juntas. Diante dos resultados, é possível afirmar que existem outras variáveis que podem ter uma influência mais importante no número de focos de queimadas, como as legislações e políticas públicas vigentes no período.

Palavras-chave: Precipitação na Amazônia; Desmatamento; Mudanças climáticas.

ABSTRACT

SANTOS, Monique Calderaro da Rocha. **Analysis of rainfall and fire outbreaks around BR-163 in the municipalities of Altamira/PA, Itaituba/PA and Novo Progresso/PA.** 2022. 90 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The advance of deforestation and fires in the Amazon is a current problem that has increased exponentially in recent years. This research aims to analyze the patterns of deforestation in the municipalities of Altamira/PA, Novo Progresso/PA and Itaituba/PA, to evaluate the number of fire outbreaks in the area in the period from 2002 to 2020 and seek relationships with the rainfall regime. An analysis of three rain gauges in the study area was carried out, maps were prepared from the information provided by “*Agência Nacional de Águas*” (ANA - National Water Agency), MapBiomas and “*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*” (INPE - National Institute for Space Research), responsible for the “*Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite*” (PRODES - Project for Deforestation Monitoring in the Legal Amazon by Satellite) and “*Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real*” (DETER - Real Time Deforestation Detection System) programs, and the correlation between the advance of deforestation, the fire outbreaks and precipitation data was made. The deforestation expansion has increased since 2018 and the demarcated Indigenous Lands represent a barrier to this advance. The correlation between the increase in the deforested area and the total rainfall was weak and positive for one of the rain gauges (0.10733), and moderate and negative for the other two instruments evaluated (-0.42802 and -0.62744), which indicates a moderate decrease in rainfall over the years as the deforested area increases. The correlation between the fire outbreaks and annual rainfall rates are considered very weak and negative for the three rain gauges (-0.12077; -0.10126 and -0.18477), that is, while one variable increases, the other decreases. The correlation with the number of days without rain in the year is weak and positive (0.19532; 0.08173 and 0.28347), therefore, both variables increase and decrease together. In view of the results, it is possible to state that there are other variables that may have a more important influence on the number of fires, such as the legislation and public policies actives in the period.

Keywords: Amazon precipitation; Deforestation; Climate Change.

RESUMEN

SANTOS, Monique Calderaro da Rocha. **Análisis de lluvias y incendios alrededor de la BR-163 en los municipios de Altamira/PA, Itaituba/PA y Novo Progresso/PA.** 2022. 90 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

El avance de la deforestación y los incendios en la Amazonía es un problema actual que se ha incrementado exponencialmente en los últimos años. Esta investigación tiene como objetivo analizar los patrones de la deforestación en los condados de Altamira/PA, Novo Progresso/PA y Itaituba/PA, evaluar el número de incendios en el período de 2002 a 2020 y buscar relaciones con el régimen de lluvias. Se realizó un análisis de tres pluviómetros en el área de estudio, se elaboraron mapas a partir de la información proporcionada por la “*Agência Nacional de Águas*” (ANA – Agencia Nacional Del Agua), MapBiomas and “*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*” (INPE – Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales), responsible for the “*Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite*” (PRODES – Proyecto de Monitoreo de la Deforestación en la Amazonía Legal por Satélite) and “*Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real*” (DETER – Sistema de Detección em Tiempo Real), y la correlación entre el avance de la deforestación, los incendios y datos de precipitaciones. La expansión de la deforestación ha aumentado desde 2018 y las Tierras Indígenas demarcadas representan una barrera para este avance. La correlación entre el aumento del área deforestada y la precipitación fue débil y positiva para un pluviómetro (0,10733), y moderada y negativa para los otros dos instrumentos evaluados (-0,42802 y -0,62744), lo que indica una disminución moderada de las precipitaciones a lo largo de los años a medida que aumenta la superficie deforestada. La correlación entre los focos de incendios y las precipitaciones anuales se considera muy débil y negativa para los três pluviómetros (-0,12077; -0,10126 y -0,18477), es decir, mientras una variable aumenta, la otra disminuye. La correlación con el número de días sin lluvia en el año es débil y positiva (0,19532; 0,08173 y 0,28347), por lo que ambas variables aumentan y disminuyen juntas. A la vista de los resultados, es posible afirmar que existen otras variables que pueden tener una influencia más importante en el número de incendios, como la legislación y las políticas públicas vigentes en el período.

Palabras clave: Precipitaciones en el Amazonas; Deforestación; Cambio Climático.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Quadro de limites planetários	2
Figura 2	Mapa da rodovia BR-163	5
Figura 3	Obra da construção da BR-163	6
Figura 4	Mapa da área de estudo	7
Figura 5	Rebanho bovino no Pará em 2015	8
Figura 6	Mapa dos principais biomas no Brasil	9
Figura 7	a. Castanheira-do-Pará; b. Mogno brasileiro; c. Taquara; d. Babaçu	10
Figura 8	Classificação climática de Köppen para o Brasil	12
Figura 9	Classificação climática de Köppen em Dubreuil <i>et al</i>	13
Figura 10	Síntese de climas do Brasil a partir da análise de TCA	14
Figura 11	Mapa geológico do Pará	16
Figura 12	Mapa das Regiões Hidrográficas do Pará	17
Figura 13	Localização das terras indígenas inseridas na área de estudo	19
Figura 14	Avanço do desmatamento na área de estudo nos anos de 2000 e 2005	24
Figura 15	Avanço do desmatamento na área de estudo nos anos de 2010 e 2015	25
Figura 16	Avanço do desmatamento na área de estudo no ano de 2020	26
Figura 17	Padrão do desmatamento em relação às fronteiras de Terras Indígenas	27
Figura 18	Incrementos de desmatamento por município	28
Figura 19	Variação anual do desmatamento em Altamira/PA	29
Figura 20	Variação anual do desmatamento em Novo Progresso/PA	29
Figura 21	Variação anual do desmatamento em Itaituba/PA	30
Figura 22	Quantidade de focos de queimadas por ano e por município	32
Figura 23	Variação anual de focos de queimadas em Altamira/PA	33
Figura 24	Variação anual de focos de queimadas em Novo Progresso/PA	33
Figura 25	Variação anual de focos de queimadas em Itaituba/PA	34
Figura 26	Total pluviométrico anual do pluviômetro km 1130	36
Figura 27	Total pluviométrico anual do pluviômetro km 1027	36
Figura 28	Total pluviométrico anual do pluviômetro km 947	37
Figura 29	Média anual dos pluviômetros km 1130, km 1027 e km 947	37

Figura 30	Boxplot dos valores pluviométricos do pluviômetro km 1130	39
Figura 31	Boxplot dos valores pluviométricos do pluviômetro km 1027	40
Figura 32	Boxplot dos valores pluviométricos do pluviômetro km 947	40
Figura 33	Número de eventos “Muito Intensos” no pluviômetro km 1130	41
Figura 34	Número de eventos “Muito Intensos” no pluviômetro km 1027	42
Figura 35	Número de eventos “Muito Intensos” no pluviômetro km 947	42
Figura 36	Simbologia dos sistemas representados em cartas sinóticas	44
Figura 37	Carta Sinótica do dia 22 de fev. de 2015 – 00Z	46
Figura 38	Carta Sinótica do dia 15 de mar. de 2015 – 00Z	46
Figura 39	Carta Sinótica do dia 03 de mar. de 2016 – 00Z	47
Figura 40	Carta Sinótica do dia 21 de jan. de 2017 – 12Z	47
Figura 41	Carta Sinótica do dia 12 de mar. de 2018 – 00Z	48
Figura 42	Carta Sinótica do dia 02 de fev. de 2020 – 00Z	48
Figura 43	Carta Sinótica do dia 03 de set. de 2016 – 12Z	50
Figura 44	Carta Sinótica do dia 26 de mar. de 2018 – 12Z	50
Figura 45	Carta Sinótica do dia 10 de set. de 2018 – 12Z	51
Figura 46	Carta Sinótica do dia 28 de ago. de 2020 – 12Z.	51
Figura 47	Carta Sinótica do dia 11 de set. de 2020 – 12Z	52
Figura 48	Correlação entre área desmatada e total pluviométrico do km 1130	57
Figura 49	Correlação entre área desmatada e total pluviométrico do km 1027	58
Figura 50	Correlação entre área desmatada e total pluviométrico do km 947	58
Figura 51	Correlação entre focos de queimada e índice pluviométrico do km 1130	60
Figura 52	Correlação entre focos de queimada e índice pluviométrico do km 1027	60
Figura 53	Correlação entre focos de queimada e índice pluviométrico do km 947	61
Figura 54	Correlação entre focos de queimadas e nº de dias sem chuva no km 1130	62
Figura 55	Correlação entre focos de queimadas e nº de dias sem chuva no km 1027	62
Figura 56	Correlação entre focos de queimadas e nº de dias sem chuva no km 947	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Critério pluviométrico para a classificação de Köppen	11
Tabela 2	Situação de regulamentação das Terras Indígenas	20
Tabela 3	Intervalos para classificação de intensidade de eventos pluviométricos	38
Tabela 4	Anos de ocorrência de El Niño e La Niña	53
Tabela 5	Datas de eventos muito intensos no inverno relacionados ao ENOS	54
Tabela 6	Interpretação do coeficiente de correlação	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CRFB/1988	Constituição da República Federativa do Brasil
DETER	Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real
DGVM	Modelo Dinâmico de Vegetação Global
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño Oscilação Sul
Fapespa	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas
FUNAI	Fundação Nacional dos Povos Indígenas
GEEs	Gases de Efeito Estufa
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISA	Instituto Socioambiental
NDVI	Índice de Vegetação de Diferença Normalizada
PRODES Digital	Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite
RCID	Relatório Circunstanciado de Identificação e Delimitação da Terra Indígena
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
SEMAS	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
TCA	Tipos de Climas Anuais
TI	Terra Indígena
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
2. ÁREA DE ESTUDO	4
2.1. Aspectos Físicos do Território	9
2.2. Terras Indígenas	18
3. EXPANSÃO E DETECÇÃO DO DESMATAMENTO	21
3.1. Focos de Queimadas	30
4. ANÁLISE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS	34
4.1. Análise de Eventos Intensos: Técnica do Boxplot	37
4.2. Análise Sinótica	43
4.2.1. <i>Cartas Sinóticas dos Eventos</i>	44
4.3. Os Efeitos da ENOS	52
5. RELAÇÕES ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS	55
5.1. Avanço do Desmatamento e Totais Pluviométricos	55
5.2. Focos de Queimadas e Dados Pluviométricos	59
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	65
GLOSSÁRIO	71
ANEXO A – Tabela de dados de desmatamento total e por município da área de estudo, período de 2008 – 2020	73
ANEXO B – Tabela de dados de focos de incêndio e quantidade de dias sem chuvas por ano, período de 2002 – 2020	74
ANEXO C – Tabela de índices pluviométricos anuais, período de 2000 – 2020	75

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os gases que compõem a atmosfera se comportam como fluidos e interagem com a superfície terrestre e oceânica, que exercem influência no clima. No caso da superfície terrestre, a alteração na cobertura e uso do solo pode refletir em mudanças na dinâmica climática, principalmente quando se trata da escala do “clima local”, no qual as variações topográficas e a cobertura do solo, assim como a ação antrópica passam a ser controles climáticos mais importantes, e também do nível “microclimático” que está mais suscetível à influência das mudanças promovidas pela ação humana, relativas às propriedades envolvidas na interação solo-vegetação-atmosfera (TARIFA, 2011).

Uma análise que se aproxima do solo é uma abordagem na escala microclimática, portanto, é nesta perspectiva que a alteração de uso do solo por substituição da cobertura vegetal da floresta por pastagem ou cultivo deve ser compreendida. Ao mesmo tempo, as interações entre a superfície e a atmosfera que ocorrem na Amazônia podem acarretar mudanças a nível local e regional, caso o desmatamento alcance a casa de milhares ou milhões de km² (TARIFA, 2011). Os cenários apresentados por Modelos Dinâmicos de Vegetação Global (DGVMs) sugerem que mudanças no uso do solo por meio do desmatamento, além de alteração na temperatura e precipitação, podem levar um terço da Bacia Amazônica para um regime climático permanentemente seco (SAAD; ROCHA; DIAS; ROSOLEM, 2010). Essa perspectiva também recebe o nome de “desertificação”, de acordo com Tarifa (2011), e corresponde a um ressecamento do meio natural quando a quantidade de água perdida pela evapotranspiração e pelo escoamento é maior do que a quantidade de água fornecida pela precipitação, ou seja, ocorre um desequilíbrio hídrico.

Além disso, o desmatamento implica também em outros fatores na relação solo-vegetação-atmosfera, como o aumento da velocidade do escoamento pluvial superficial, que causa perda de minerais do solo e impedimento da percolação com a alteração na recepção do fluxo de água (TARIFA, 2011). Diante disso, uma vez que a substituição da vegetação original por pastagem ou cultivo altera a interação vegetação-atmosfera original, encadeando uma série de mudanças no equilíbrio original, quando grandes áreas são alteradas pelo desmatamento o clima também passa a ser influenciado por essas alterações promovidas pela expansão do desmatamento (ALVES; FISCH; VENDRAME, 1999).

O quadro de limites planetários (Figura 1) é baseado nas evidências de que os fatores antrópicos são os principais motivadores para as mudanças climáticas e afetam o sistema terrestre em níveis que ameaçam o equilíbrio, a capacidade de resiliência do planeta e a sobrevivência. A partir dessa ideia, o quadro foi elaborado com nove processos considerados essenciais para vida, que regulam o equilíbrio do sistema terrestre, e que possuem as chamadas “fronteiras planetárias” que marcam uma zona de segurança para a vida no planeta, e são relacionadas à influência da atividade humana em cada processo. Uma vez que a atividade humana ultrapassa esses limites ou pontos de inflexão, a própria sobrevivência é colocada em risco. As fronteiras planetárias também representam uma forma de identificação da zona segura para o desenvolvimento humano sustentável.

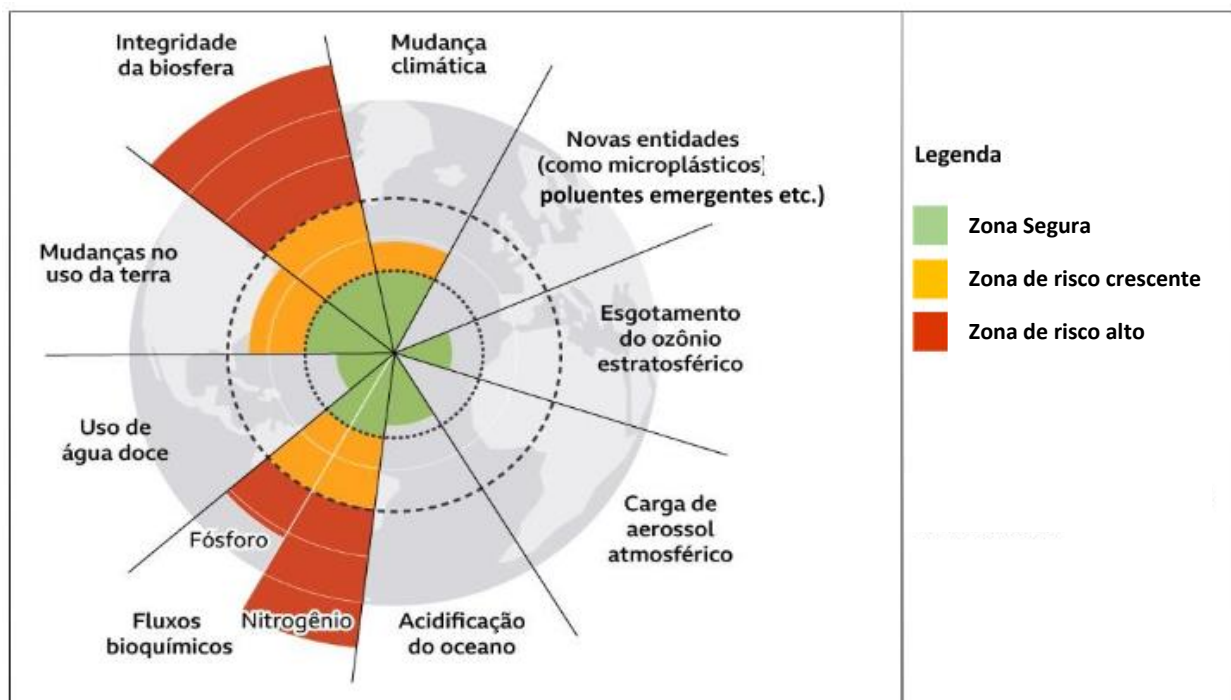


Figura 1: Quadro de limites planetários. Fonte: Adaptado de Steffen (2015).

Existem quatro categorias que ultrapassaram as fronteiras estabelecidas, os pontos de inflexão: “Mudança climática”, “Mudanças no uso da terra”, “Integridade da biosfera” (categoria dividida entre “diversidade genética” e “diversidade funcional”) e “Fluxos bioquímicos”. As duas primeiras estão na Zona de Risco Crescente, enquanto as duas últimas já se encontram na Zona de Risco Alto. As categorias de Mudança climática e Integridade da Biosfera são consideradas como

“fronteiras planetárias núcleo” ou “fronteiras planetárias principais”, pois representam maior importância para o equilíbrio do sistema terrestre, uma vez que o clima é resultado do balanço do fluxo energia na Terra, e a integridade da biosfera na zona segura significa que o planeta possui maior resiliência a possíveis mudanças abruptas.

A variável de controle de “Mudanças no uso da terra” é a cobertura florestal remanescente nos três biomas que desempenham um papel mais expressivo nas interações entre a superfície e a atmosfera (tropical, temperado e boreal) e podem influenciar o clima em locais além da região onde ocorreu a mudança no uso da terra. A categoria se relaciona com os processos biogeofísicos que regulam o clima, como a troca de energia, água e as trocas superfície-clima. Alterações nas florestas boreais afetam o albedo e, consequentemente, a troca de energia. Já os biomas tropicais quando são transformados em regiões não florestais mudam também a evapotranspiração (STEFFEN, 2015).

O Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES Digital), realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), monitora o desmatamento por corte raso na Amazônia Legal, assim como o Programa Queimadas, do mesmo Instituto, identifica focos de queimadas. A ocorrência das queimadas é predominante em estações secas, período em que ocorrem com maior frequência pela suscetibilidade ao fogo que existe em um ambiente mais seco. Porém a quantidade de queimadas também está relacionada ao desmatamento e outras atividades antrópicas como a agricultura e o estabelecimento de pastagem para a criação de gado (IEMBO; GALVANI, 2019).

De acordo com os dados disponibilizados pelo portal TerraBrasilis o estado do Pará ocupa o primeiro lugar na taxa de desmatamento acumulado da Amazônia Legal, com mais de 160 mil quilômetros quadrados desmatados até 2021. Os municípios de Altamira, Novo Progresso e Itaituba, a região ao redor da BR-163, também conhecida como “rodovia do desmatamento”, uma das principais rotas para o escoamento da produção de soja do Mato Grosso, passaram não só a ser um dos focos de desflorestamento no estado, como também um local alvo de conflitos pela propriedade de terras e de discussões por movimentos socioambientais e por populações tradicionais, principalmente após sua pavimentação (FEARNside, 2007).

A região é peça chave no avanço do chamado arco do desmatamento e na expansão do agronegócio e da pecuária, além das atividades de mineração e de garimpo ilegal, ao mesmo tempo em que possui diversas terras indígenas e unidades de conservação regulamentadas. Essa situação

gera conflitos fundiários e relacionados à exploração de recursos que envolvem e colocam em risco a população tradicional que vive na área (VAZ FILHO, 2013).

Diante desse cenário, esta pesquisa se propõe a analisar padrões e causas para o avanço do desmatamento nos municípios de Altamira/PA, Novo Progresso/PA e Itaituba/PA. Também é objeto desse estudo avaliar o número de focos de incêndio na área no período de 2002 a 2020, buscando possíveis relações do fenômeno com o regime pluviométrico no local, que é avaliado a partir de três pluviômetros localizados nas proximidades da BR-163. Outro objetivo é analisar os efeitos do El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre os eventos intensos de chuva.

2. ÁREA DE ESTUDO

A rodovia federal BR-163 que, hoje, liga a cidade de Tenente Portela, no Rio Grande do Sul, à Santarém, no Pará (Figura 2), remonta ao Programa de Integração Nacional do Decreto-Lei 1.106 de 1970 (BRASIL, 1970), que continha três objetivos principais, ligados ao desenvolvimento, para concretizar o programa de governo do terceiro general a ocupar a presidência da república durante a Ditadura Militar, Emílio Garrastazu Médici. Primeiro, a modernização do núcleo desenvolvido, como referência à região centro-sul do Brasil. Segundo, a população como recurso para o desenvolvimento, uma concepção que dialoga não apenas com o aspecto econômico do Estado, mas que também carrega as consequências políticas da ditadura para garantir a ordem e o controle através dos corpos produtivos e disponíveis para o trabalho, como tentativa de assegurar a obediência dos “recursos humanos” (SOARES, 2015).



Figura 2: Mapa da rodovia BR-163. Fonte: Ministério do Transporte (2015).

A integração do território aparece, por fim, como principal estratégia para alcançar o desenvolvimento e se relaciona com os dois primeiros objetivos já citados. Segundo o governo, as regiões vistas como menos desenvolvidas (Norte e Nordeste) exerciam uma sobrecarga econômica causada, por exemplo, pela migração de trabalhadores pobres para o centro-sul, e essas áreas do território nacional teriam seu desenvolvimento possibilitado pela integração com o

redirecionamento de “recursos humanos” para a ocupação (territorial e laboral) desse espaço que era considerado “vazio” e “atrasado”. Dessa forma, com a ocupação e a facilitação do desenvolvimento dessas regiões, a “modernização” no Centro-sul desenvolvido também avançaria (SOARES, 2015).

É nesse contexto que se inicia a abertura do traçado da BR-163 em meio à floresta amazônica (Figura 3), uma construção que durou de 1971 a 1975 e teve sua inauguração em 1976, já durante o governo de Ernesto Beckmann Geisel, quarto general a ocupar a presidência da república durante a Ditadura. Grande parte da rodovia permaneceu não pavimentada no estado do Pará até o ano de 2017 quando iniciaram trabalhos de pavimentação a partir de um convênio assinado no governo de Michel Temer em 2016. Em 2019 as obras foram concluídas e a rodovia foi inaugurada em fevereiro de 2020 pelo governo de Jair Bolsonaro (MONNERAT; SARTORI, 2019).



Figura 3: Obra da construção da BR-163. Foto: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

Nas faixas ao redor dos eixos rodoviários as proporções do desmatamento assumem um caráter preocupante e, no caso da BR-163 não é diferente, considerando que a estrada corta dois dos principais biomas brasileiros, que enfrentam cotidianamente essa questão: o cerrado e a floresta amazônica (MONTEIRO, 2006).

O trecho da BR-163 utilizado para este estudo é o que corta os municípios de Altamira, Novo Progresso e Itaituba, no sudoeste do Pará (Figura 4), estado que possui a maior taxa de desmatamento acumulado da Amazônia Legal, de acordo com dados do PRODES, disponibilizados no portal Terra Brasilis. O município de Itaituba possui uma população estimada de 101.541 pessoas em 2021, é considerado de médio porte e possui uma atividade de extração mineral intensa no Vale do Rio Tapajós (IBGE). Novo Progresso, possui 25.769 habitantes pela estimativa do IBGE e foi elevado à categoria de município após ser desmembrado de Itaituba no ano de 1991. Já Altamira conta com uma estimativa de 117.320 habitantes.

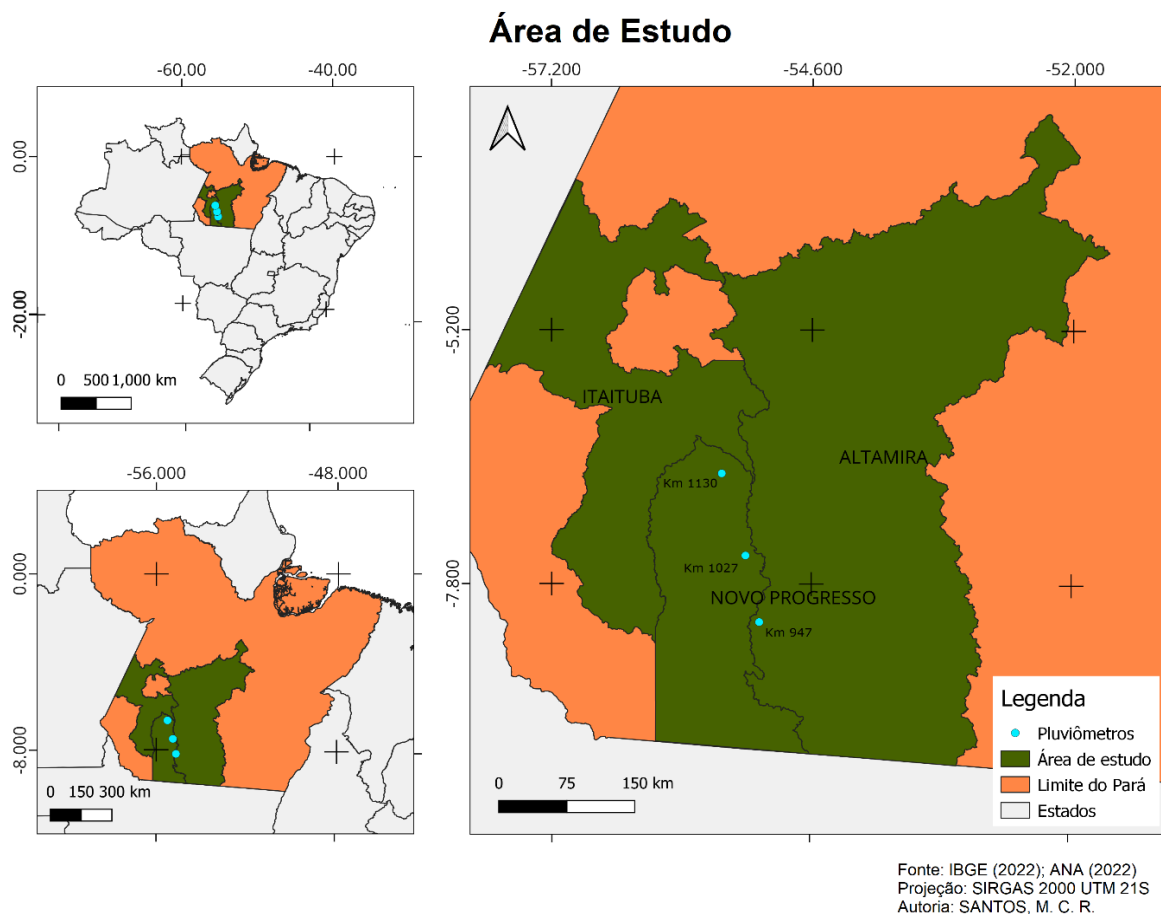


Figura 4: Mapa da área de estudo.

O desmatamento é uma ameaça ao bioma da região e é um fenômeno cuja ocorrência está relacionada ao avanço do agronegócio. Em Itaituba, o rebanho bovino em 2015 estava registrado entre 133.552 e 375.000 cabeças de gado. Altamira e Novo Progresso estavam numa marca entre 375.001 e 1.070.400. O município vizinho, São Félix do Xingu, registrou o maior número no estado, com 2.222.949 cabeças de gado (Figura 5). Com a expansão da pecuária, avança também o processo do desmatamento para converter a floresta em pastagens. Ao mesmo tempo, os campos agricultáveis acompanham o aumento do desmatamento, principalmente aqueles que são direcionados para a produção de grãos, como a soja, que apesar de ser um produto que possui uma relação de dependência com a variação do preço mundial, nesse área possui baixa produtividade, já que funciona como uma forma de sedimentar as áreas desmatadas (ARAÚJO; PONTE, 2015).

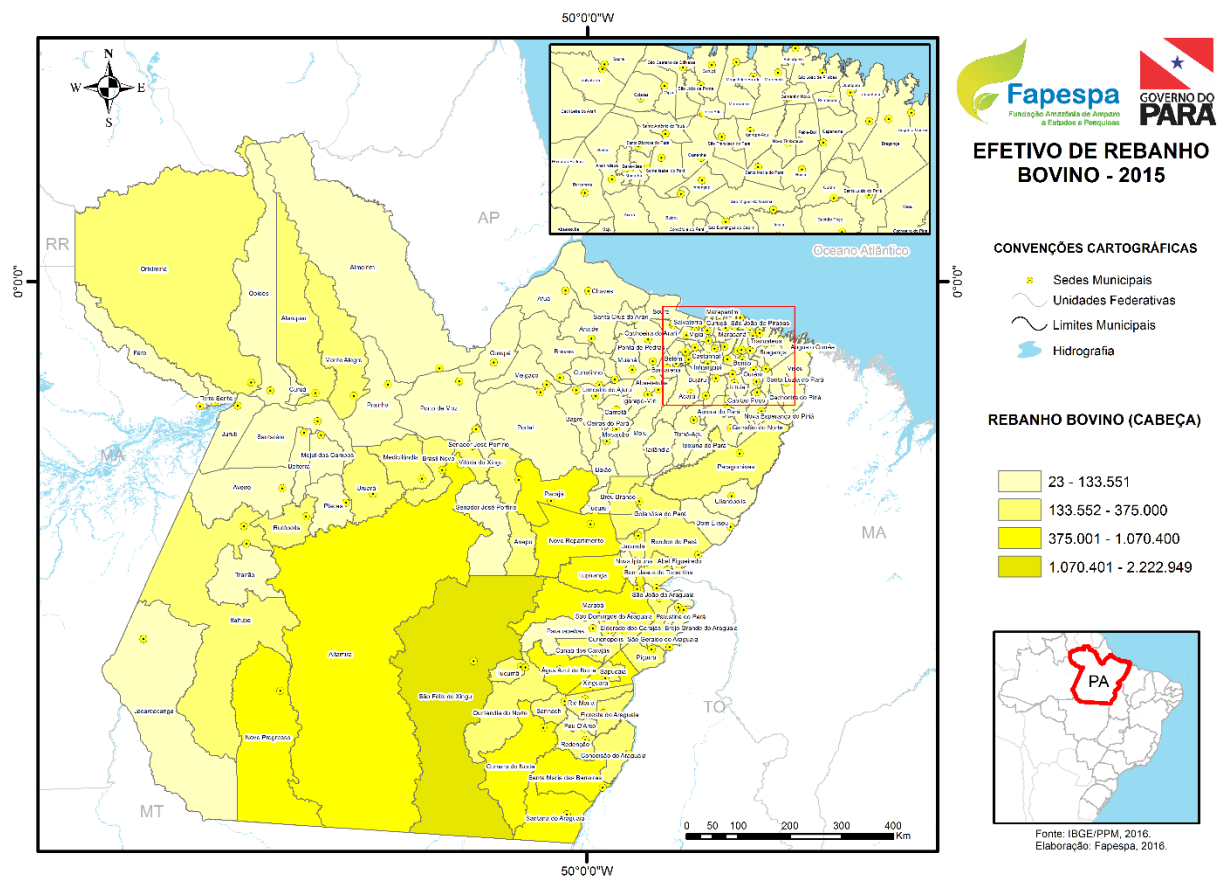


Figura 5: Rebanho bovino no Pará em 2015. Fonte: Fapespa.

2.1. Aspectos Físicos do Território

De acordo com Coutinho (2016), que caracterizou os principais biomas no Brasil, a área de estudo desta pesquisa corresponde ao bioma Floresta Amazônica Aberta Sempre-Verde de Terra Firme (Figura 6). Os biomas de florestas tropicais pluviais sempre-verdes da Amazônia não possuem uma uniformidade de fitofisionomia e de condições edáficas. Portanto o que se conhece como “bioma da Mata Amazônica”, que se estende por cerca de 7 milhões de quilômetros quadrados, abrangendo grande parte da Bacia Amazônica, na verdade não representa um único bioma, mas um conjunto de biomas (COUTINHO, 2016).

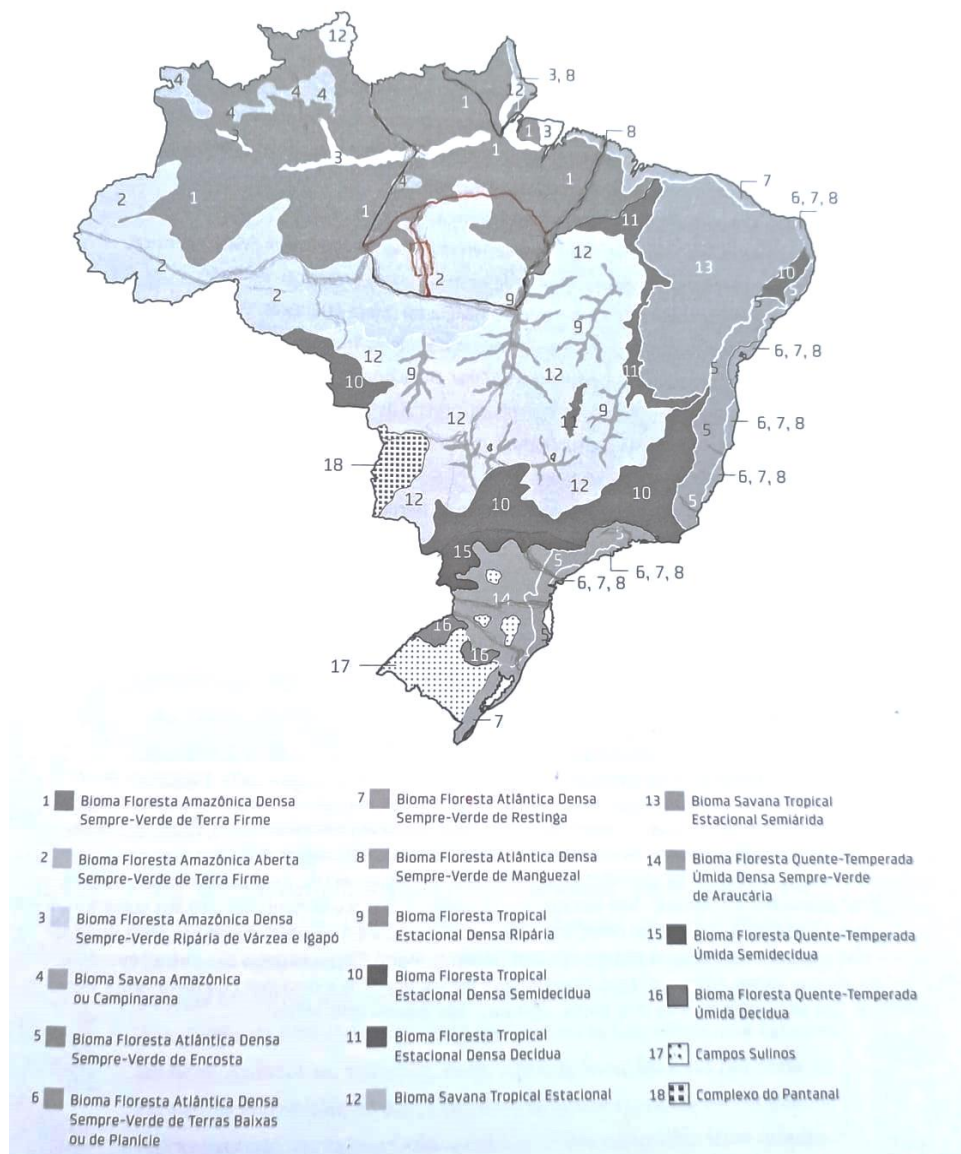


Figura 6: Mapa dos principais biomas no Brasil. Fonte: Coutinho, 2016.

O Bioma Floresta Amazônica Aberta Sempre-Verde de Terra Firme possui vegetação aberta com espécies arbóreas como as castanheiras-do-pará (*Bertholetia excelsa*), as árvores produtoras da madeira comercializada como mogno (*Swietenia*) e da madeira de cedro (*Cedrela*), além de possuir bambus como a taquara (*Guadua superba*) e palmeiras como o babaçu e o inajá (*Attalea speciosa* e *maripa*), representadas na Figura 7. As árvores de maior porte ficam mais esparsas, envolvidas entre bambus, palmeiras e lianas e, dessa forma, a luz consegue penetrar mais em seu interior, em comparação com o Bioma Floresta Amazônica Densa Sempre-Verde de Terra Firme (COUTINHO, 2016).



Figura 7: a. Castanheira-do-Pará; b. Mogno brasileiro; c. Taquara; d. Babaçu. Fonte: Nexojornal; IFSC-USP; Central do Cerrado.

O clima predominante é o equatorial, quente e úmido, com temperatura média anual entre 25 e 27°C. A precipitação anual média é de 1.500 mm com um período de seca entre os meses de junho a agosto. Essa precipitação é suficiente para que se forme uma lâmina de água de 1,5 m de espessura anualmente e é proveniente principalmente da própria evapotranspiração das florestas, ainda que os ventos alísios vindos do Oceano Atlântico possam trazer umidade e nebulosidade (COUTINHO, 2016).

O estudo de Alvares *et al* (2013) utilizou dados de temperatura e chuva para um período mínimo de 25 anos, entre 1950 e 1990, distribuídos em 2.950 estações meteorológicas para identificar no Brasil os tipos de clima definidos por Wladimir Köppen em 1899. De acordo com a classificação climática de Köppen realizada pelos autores, os municípios estão localizados numa área de Clima tropical de monções (Am), que é o mais representativo do país, presente em 27,5% do território (Figura 8).

Para um local ser considerado do tipo climático “Am”, é definido que o total pluviométrico do mês mais seco (M_{sec}) é menor que 60mm e o total pluviométrico anual deve ser maior que $25 \times (100 - M_{sec})$. Dessa forma, se o M_{sec} é de 10mm, o total pluviométrico anual deve ser maior que $25 \times (100 - 10)$, ou seja, 2.250mm (Tabela 1).

Tabela 1: Critério pluviométrico para a classificação de Köppen. Adaptado de Alvares *et al* (2013).

Chuva mensal	Chuva anual	Clima	Símbolo
$M_{sec} \geq 60\text{mm}$		Tropical sem estação seca	Af
$M_{sec} < 60\text{mm}$	$\geq 25 \times (100 - M_{sec})$	Tropical de monções	Am
	$< 25 \times (100 - M_{vsec})$	Tropical com verão seco	As
	$< 25 \times (100 - M_{isec})$	Tropical com inverno seco	Aw



Figura 8: Classificação climática de Köppen para o Brasil. Fonte: Adaptado de Alvares, et al, 2013.

Outra metodologia de análise, também baseada na classificação de Köppen, foi utilizada por Dubreuil, Fante, Planchon e Sant'anna Neto (2018), para a identificação de Tipos de Climas Anuais (TCA). Os autores utilizaram dados de 208 estações meteorológicas com dados mensais de 1961 a 2015, para definir um TCA para cada ano avaliado, além da classificação tradicional que considera cálculos médios de um longo período. Os autores consideram um período de 55 anos, incluindo dados mais recentes. Os resultados apontam uma classificação do clima “Aw”

(Clima tropical com inverno seco) para a região dos municípios considerados neste estudo (Figura 9).

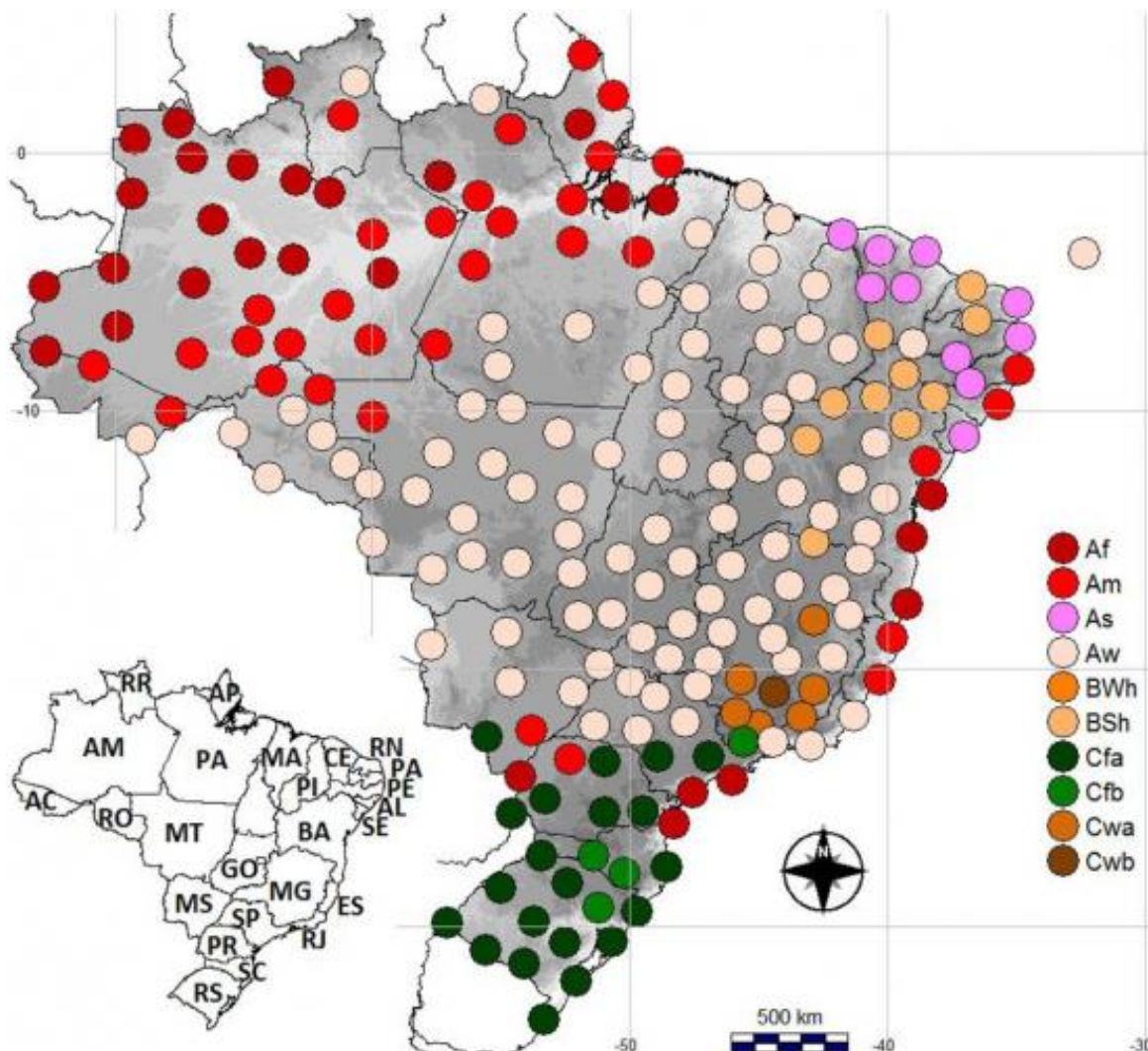


Figura 9: Classificação climática de Köppen em Dubreuil *et al.* Fonte: DUBREUIL; FANTE; PLANCHON; SANT'ANNA NETO (2018).

A classificação de Köppen para os dados médios do período de 1961 a 2015 em Dubreuil, Fante, Planchon e Sant'anna Neto (2018) foi do clima “Aw”, diferente do resultado obtido por Alvares *et al* (2013), que conclui com o clima “Am” para a região. Porém a classificação por TCA mostra uma sucessão desses dois tipos climáticos ao longo dos anos, com frequências distintas no sudoeste do Pará (Figura 10). No mapa abaixo, a linha vermelha escura representa o limite meridional dos TCA classificados como "Af". A linha vermelha é o limite meridional dos TCA

classificados como "Am". A linha azul é o limite setentrional dos TCA do tipo "C". As indicações G, V, R e PA, são, respectivamente, São Gabriel da Cachoeira, Vera, Recife e Porto Alegre.

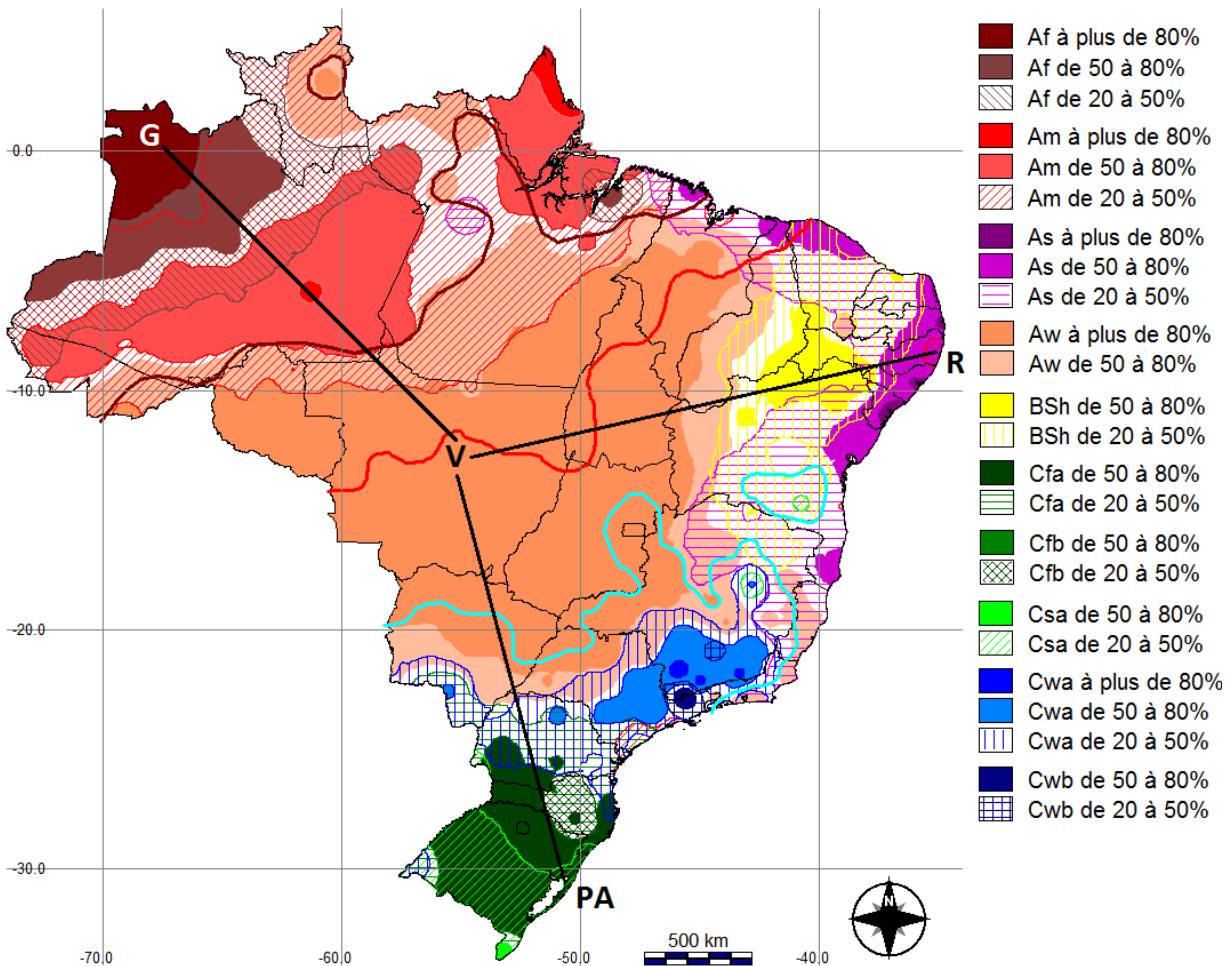


Figura 10: Síntese de climas do Brasil a partir da análise de TCA. Fonte: DUBREUIL; FANTE; PLANCHON; SANT'ANNA NETO (2018).

Geologicamente, a região se localiza no contexto do cráton-amazônico, área de rochas pré-cambrianas. Segundo Queiroz (2015), a área de estudo está situada nos domínios Tapajós e Iririxingu, com arenitos e folhelhos metamorfizados, rochas graníticas de metamorfismo e rochas máficas-ultramáficas metamorfizadas com feições de recristalização de quartzo, hematita e muscovita (Figura 11). Nessas formações existem quatro formas de ocorrência de ouro identificadas: em aluviões (sedimentos como areia, cascalho e argila, depositados no leito e

margens de sistemas fluviais), em depósitos coluviais (material detrítico depositado em sopé de encostas), em metaconglomerados e em metarenitos (rochas que hospedam a mineralização). Essa característica das formações geológicas atrai para a região a atividade mineradora, que é desenvolvida principalmente nas margens dos rios, nas bacias hidrográficas Tapajós e Xingu (Figura 12), com feições características dessa prática, que são o solo exposto e a formação de lagos artificiais nesses locais (SOUZA, *et al*, 2018).

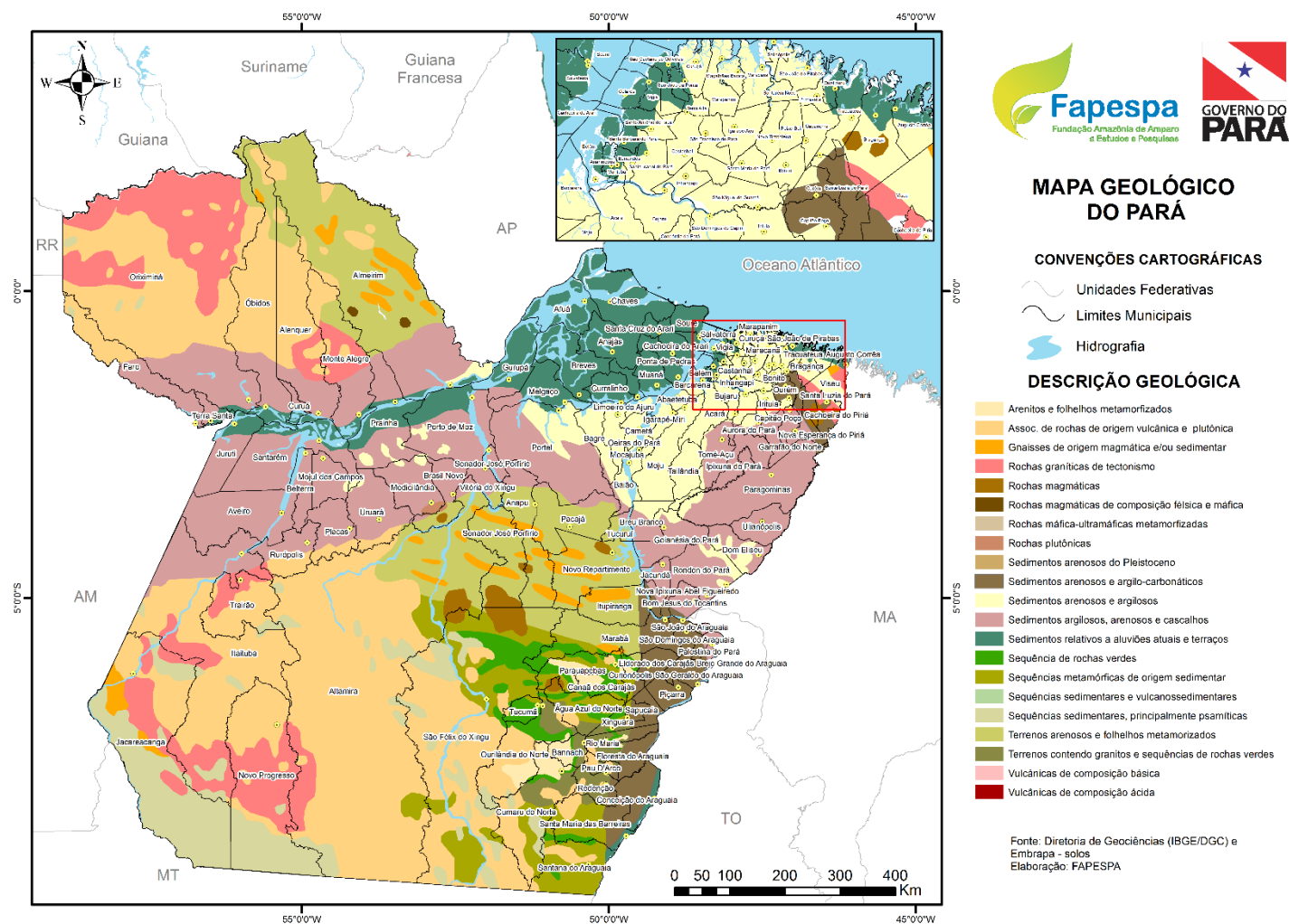


Figura 11: Mapa geológico do Pará. Fonte: Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa, 2017).

REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARÁ

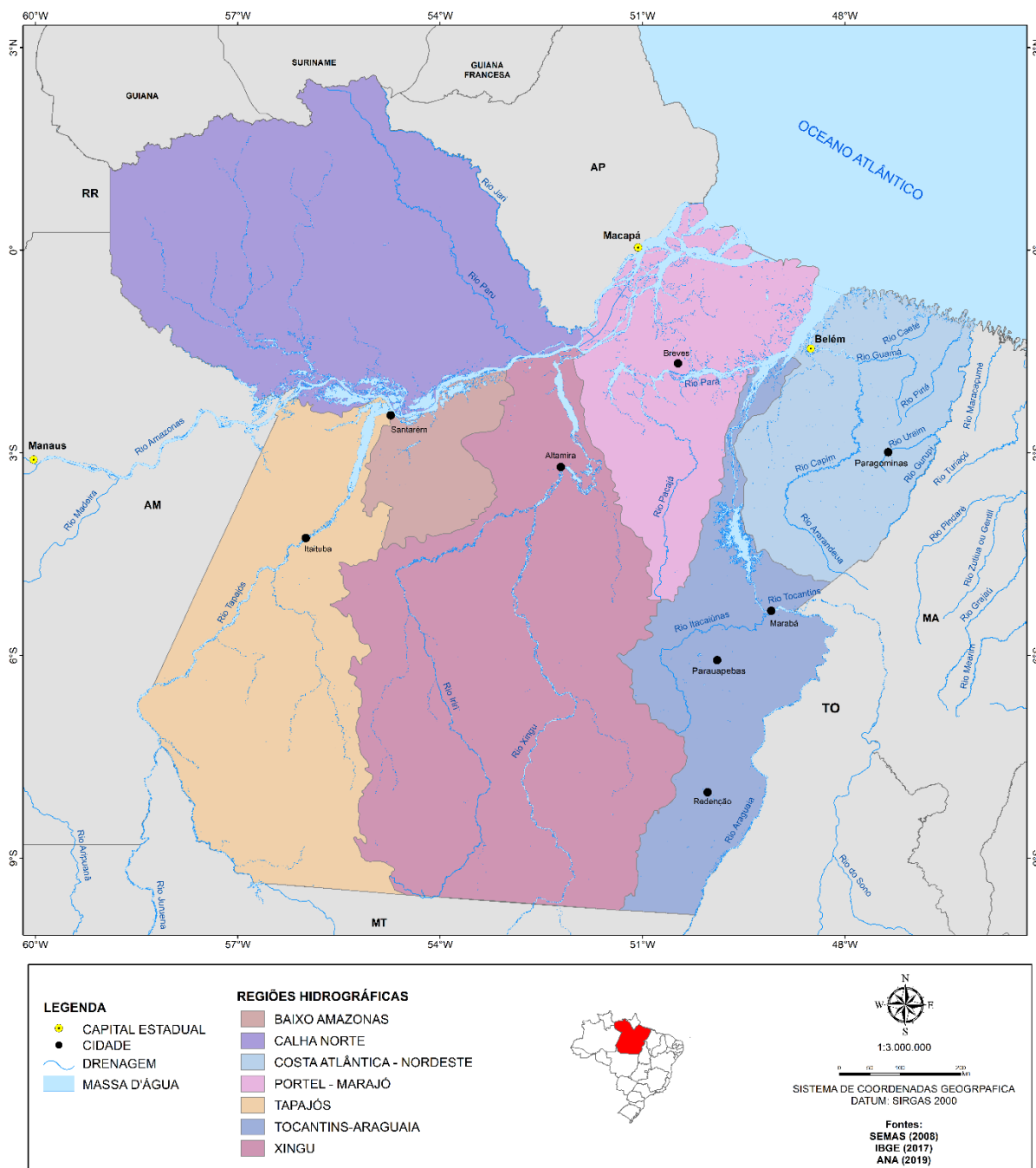


Figura 12: Mapa das Regiões Hidrográficas do Pará. Fonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS, 2008).

2.2. Terras Indígenas

A Constituição da República Federativa do Brasil (CRFB/1988) determina que é competência da União legislar sobre e para as populações indígenas, porém, ao mesmo tempo, são poucos os representantes que alcançam cargos legislativos a nível federal. Em 2022 a Câmara dos Deputados alcançou o número recorde de cinco deputados federais indígenas eleitos: Célia Xakriabá, Juliana Cardoso, Paulo Guedes, Silvia Waiãpi e Sônia Guajajara (GUSTAVO, 2022). Joênia Wapichana, primeira indígena que conquistou uma vaga como deputada federal em 2018, não alcançou a reeleição, porém foi nomeada como a primeira presidenta da Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI). Também é a primeira vez na história que o Brasil tem um Ministério dos Povos Indígenas, que terá Sônia Guajajara como ministra (MILANEZ, 2023).

O Artigo 231 da CRFB/1988, que trata dos direitos dos povos indígenas, garante que “são reconhecidos aos *índios* sua organização social, costumes, línguas, crenças e tradições, e os direitos originários sobre as terras que tradicionalmente ocupam, competindo à União demarcá-las, proteger e fazer respeitar todos os seus bens” (BRASIL, 2017). Os povos indígenas reconhecem como um ponto positivo da Constituição não ter se limitado a definir o direito à terra, incluindo o reconhecimento das tradições indígenas, porém também compreendem que a garantia desses direitos não existe sem luta (SILVA; MOREIRA, 2020). De acordo com o Instituto Socioambiental (ISA), existem 17 Terras Indígenas (TIs) que estão parcial ou completamente inseridas em pelo menos um dos municípios da área de estudo (Figura 13).

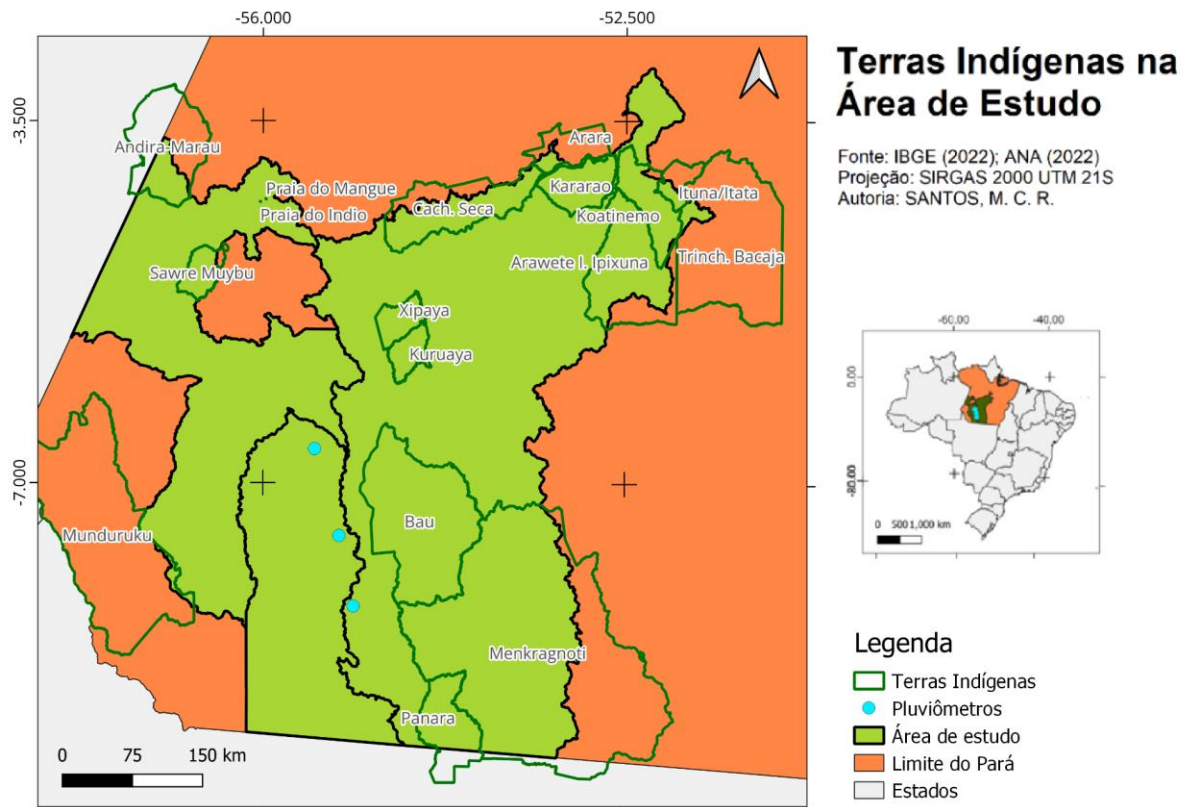


Figura 13: Localização das terras indígenas inseridas na área de estudo.

A CRFB define as terras tradicionalmente ocupadas como aquelas que são “por eles habitadas em caráter permanente, as utilizadas para suas atividades produtivas, as imprescindíveis à preservação dos recursos ambientais necessários a seu bem-estar e as necessárias a sua reprodução física e cultural, segundo seus usos, costumes e tradições”. O artigo 213 também dispõe que as Terras Indígenas são de sua posse permanente, com direitos imprescritíveis, e que a exploração dos recursos hídricos, energéticos e possíveis riquezas minerais só podem ocorrer com autorização do Congresso Nacional, que deve ouvir a comunidade que vive na TI que será afetada. O parágrafo 6º do artigo 213 também enfatiza que os atos que têm como objetivo a ocupação, posse ou exploração de recursos dessas terras, são nulos e extintos, exceto em situações de relevante interesse público da União, que deve ser regulamentado por lei complementar.

O processo para a demarcação de uma Terra Indígena é responsabilidade do Poder Executivo, e se inicia com o estudo de identificação e delimitação, que ocorre pela FUNAI, com a elaboração do Relatório Circunstanciado de Identificação e Delimitação da Terra Indígena (RCID). Com o Relatório aprovado, os estados e municípios têm direito de apresentar razões e documentações que mostrem seu interesse no território que passa pelo processo de demarcação, na etapa do “contraditório administrativo”, que é avaliada pelo Ministério da Justiça. Em seguida, o Ministro da Justiça também realiza a declaração dos limites, e determina a demarcação. Após a determinação, a FUNAI realiza a demarcação física e o levantamento fundiário de propriedades de não-indígenas para estabelecer valores de indenização. A Presidência da República é então responsável pela homologação da demarcação através de decreto presidencial. Ocorre então a retirada dos ocupantes não-índios com pagamento de indenização, e reassentamento daqueles que cumprirem os critérios da reforma agrária. Em até 30 dias após a publicação do decreto de homologação deve ocorrer o registro da TI na Secretaria de Patrimônio da União. No caso de indígenas isolados, também deve ocorrer a interdição de áreas para a sua proteção (CIMI).

Entre as TIs inseridas na área de estudo, 13 já estão regularizadas, ou seja, foram homologadas e estão com o processo concluído, duas estão encaminhadas, com o processo de demarcação em andamento, uma está delimitada (aguarda homologação) e uma ainda está no início do processo na fase de estudo. Todas elas são tradicionalmente ocupadas, com exceção das terras encaminhadas, que são Reservas Indígenas, e a TI Ituna/Itatá, em estudo, que está interditada (Tabela 2). Entre as pressões que as TIs encontram estão conflitos fundiários com posseiros, grileiros, fazendeiros e arrendamentos, além de exploração de recursos de madeireiros, pescadores e garimpeiros (ISA, 2022).

Tabela 2: Situação de regulamentação das Terras Indígenas. Fonte: ISA (2022).

Terra Indígena	Área (ha)	Pop.	Fase	Modalidade	Pressões e ameaças
Andirá-Marau	788528	13350	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Grileiro
Arara	274010	298	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Madeireiro Posseiro

Araweté Igarapé Ipixuna	940900.8	467	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Madeireiro Pescador Grileiro
Baú	1540930	188	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Garimpeiro Madeireiro Pescador Fazendeiro Grileiro
Cachoeira Seca	733688	88	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Pescador Madeireiro Posseiro Fazendeiro
Ituna/Itatá	142402	?	Em estudo	Interditada	
Kararaô	330837.5	58	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Pescador
Koatinemo	387834.3	182	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Garimpeiro
Kuruáya	166784.2	163	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Garimpeiro Grileiro
Menkragnoti	4914255	1264	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Garimpeiro Madeireiro Pescador
Munduruku	2381800	6518	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Garimpeiro Pescador
Panará	499740	543	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Madeireiro Arrendamento
Praia do Índio	28	125	Encaminhada	Reserva Indígena	Madeireiro
Praia do Mangue	30	168	Encaminhada	Reserva Indígena	Madeireiro
Sawré Muybu	178173	168	Delimitada	Tradicionalmente ocupada	
Trincheira/Ba cajá	1650939	746	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Garimpeiro Madeireiro Grileiro
Xipaya	178724	173	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Grileiro

3. EXPANSÃO E DETECÇÃO DO DESMATAMENTO

A construção de rodovias e a escolha de uma economia baseada em commodities são elementos que favorecem a contínua expansão do desmatamento na região Amazônica,

principalmente nas porções sul e leste, local conhecido como arco do desmatamento, onde a fronteira agrícola avança em direção à floresta e onde estão os maiores índices de desmatamento (SAAD; ROCHA; DIAS; ROSOLEM, 2010).

O processo do desmatamento se inicia com uma floresta original e termina com um ambiente completamente convertido em outros tipos de cultura. Ocorre também um processo de remoção hierárquico das árvores, com prioridade por aquelas de madeira nobre, depois para as que são utilizadas pela construção civil e, por fim, as que possuem madeira leve que são utilizadas para a produção de compensados. Posteriormente são derrubadas as árvores de menor porte e a vegetação rasteira é destruída, num momento em que 50% do dossel de árvores mais altas já foi eliminado e o restante da cobertura florestal normalmente é queimado. O capim é capaz de se adaptar e brotar novamente após o incêndio, o que permite a realização de pastagem por gado mesmo na área degradada pelo fogo (HRYCYK; PINHO; KORZEKWA, 2017).

O INPE divide o desmatamento em três classes diferentes: Desmatamento, Desmatamento com Vegetação e Mineração. A primeira é a remoção total da cobertura florestal, sem distinções entre qual será o uso final da área desmatada e pode ocorrer por corte raso, com a remoção da floresta em uma única ação, ou por eventos de degradação recorrentes. A segunda classe diz respeito aos locais em que há evidência de desmatamento, mas a área desmatada se encontra com sinais de uma cobertura vegetal, seja por conta da dificuldade de detecção pela cobertura de nuvens entre o momento do corte raso e a produção de imagem, ou como resultado da degradação recorrente. A última classe representa os casos de desmatamento como resultado da atividade mineradora, como o garimpo artesanal ou ilegal.

Como o desmatamento é um processo que altera a superfície, existem formas de detecção e monitoramento da expansão desse fenômeno através do sensoriamento remoto, que é capaz de captar informações do espectro eletromagnético fora da região visível ao olho humano, por meio da captação da energia emitida ou refletida por uma superfície. Cada tipo de cobertura reflete, absorve e transmite a radiação eletromagnética de forma variável de acordo com o comprimento de onda, que é determinado pelas características biofísicoquímicas do objeto. Os sensores são capazes de detectar e diferenciar essas variações de energia, separando a imagem em diferentes camadas de acordo com a onda que é captada (HRYCYK; PINHO; KORZEKWA, 2017).

Com a identificação dos sensores, é possível classificar cada uso do solo de acordo com parâmetros espectrais, texturais, geométricos, como o Índice de Vegetação de Diferença

Normalizada (NDVI), uma técnica de detecção remota que identifica se há vegetação verde em algum espaço da imagem. Quanto maior o valor do índice, significa que o sensor identificou a presença de vegetação muito sadia. Quando, numa área da imagem, há presença de vegetação sem atividade vital ou alvos não-vegetais, como corpos d'água, solo exposto ou área construída, o valor é igual ou abaixo de zero (GALVÃO, 1998). Dessa forma, o NDVI se apresenta como uma ferramenta de análise bastante importante para detecção e separação de áreas de floresta e áreas desmatadas, com solo exposto ou vegetação sem atividade.

No Brasil, desde 1988, o INPE monitora e mapeia o desmatamento por corte raso com o processamento computacional de imagens de satélite e produz e atualiza as Taxas Anuais do Desflorestamento da Amazônia Legal. A partir de 2002, é por meio da classificação de imagens com a Metodologia do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia do PRODES que as estimativas são realizadas, com imagens que possuem uma resolução espacial de 30 metros, o que garante a confiabilidade e o refinamento dos dados produzidos pelo programa (RAMOS; NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2011). Sua análise é realizada a partir de imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite *Landsat* e resulta numa estimativa da extensão de áreas desmatadas referentes a uma data (OLIVEIRA; ANGELIS, 2011). Esses dados são atualizados no Portal Terra Brasilis, e estão disponíveis no *plug-in* com os dados georreferenciados no *software* Qgis, que conta com uma camada com o desmatamento acumulado até 2007 e outras camadas com dados anuais a partir de 2008.

O software também oferece o *plug-in* do MapBiomass, que produz o mapeamento anual de uso e cobertura do solo com dados a partir de 1985, e é possível visualizar o avanço do desmatamento. Como resultado da utilização desses dados, foram elaborados mapas da situação do desmatamento na área de estudo em 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020 (Figuras 14, 15 e 16). Para os anos de 2000 e 2005 foram utilizadas apenas as bases de dados do MapBiomass para que fosse possível observar a evolução nesse período, visto que a primeira camada de informações disponibilizada pelo INPE são os acumulados até 2007, e os dados de incrementos anuais se iniciam em 2008.

Nas produções cartográficas de 2010, 2015 e 2020 foram combinados os dados do MapBiomass, com camadas de dados anuais do INPE, para que a visualização do incremento do desmatamento em cada ano fosse facilitada.

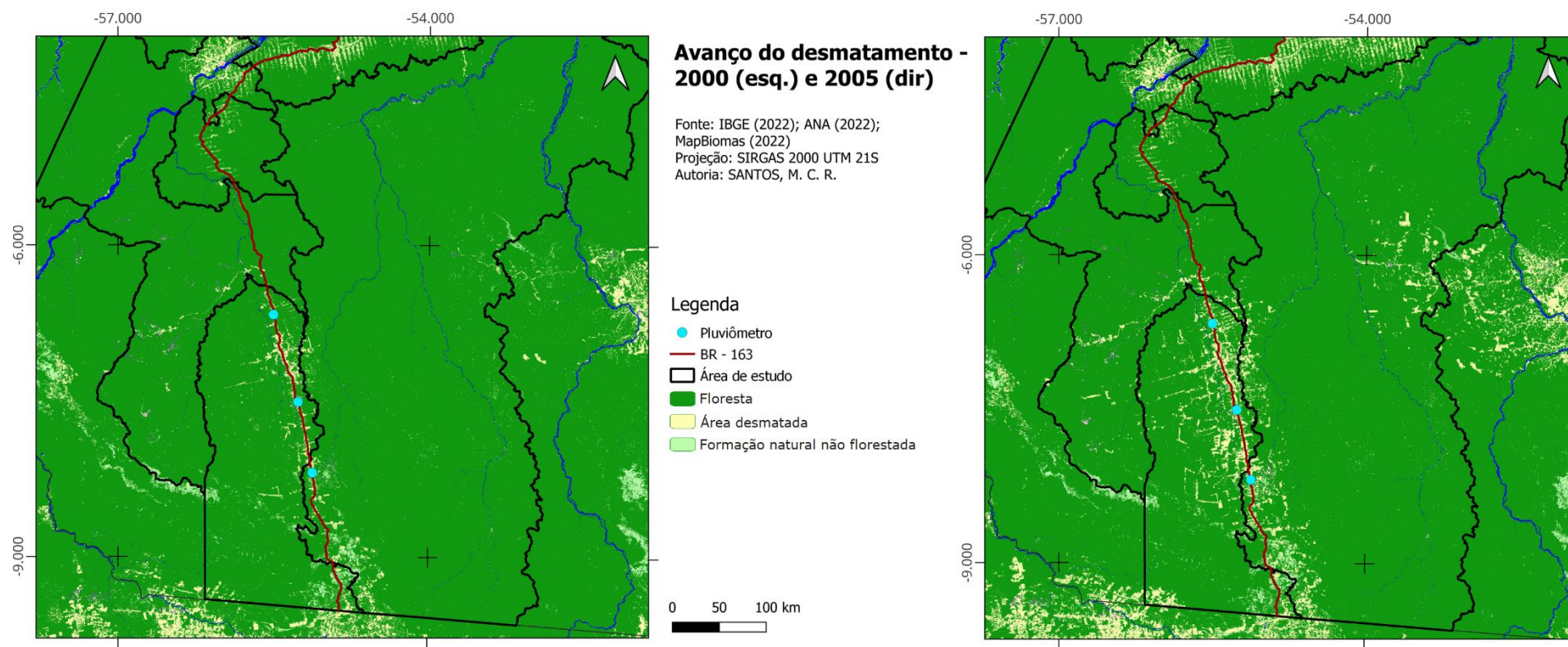


Figura 14: Avanço do desmatamento na área de estudo nos anos de 2000 e 2005.

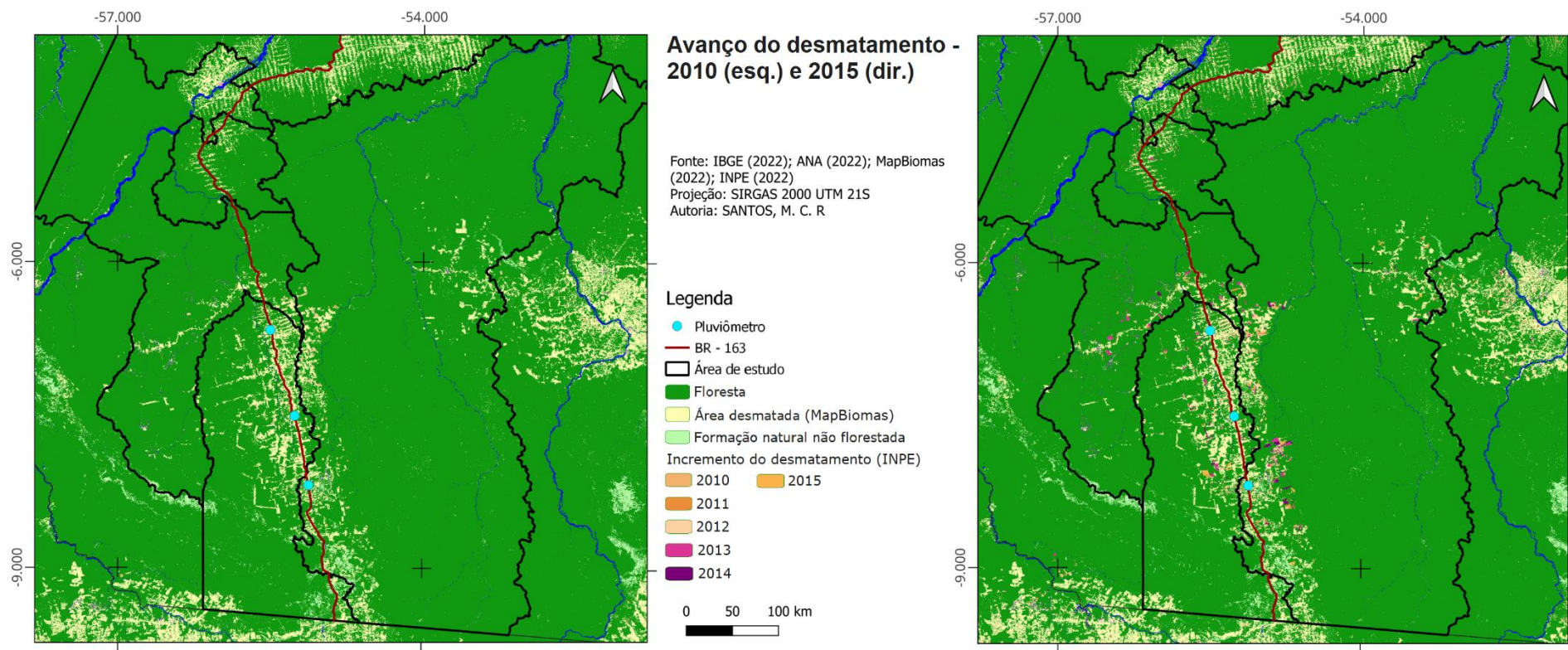


Figura 15: Avanço do desmatamento na área de estudo nos anos de 2010 e 2015.

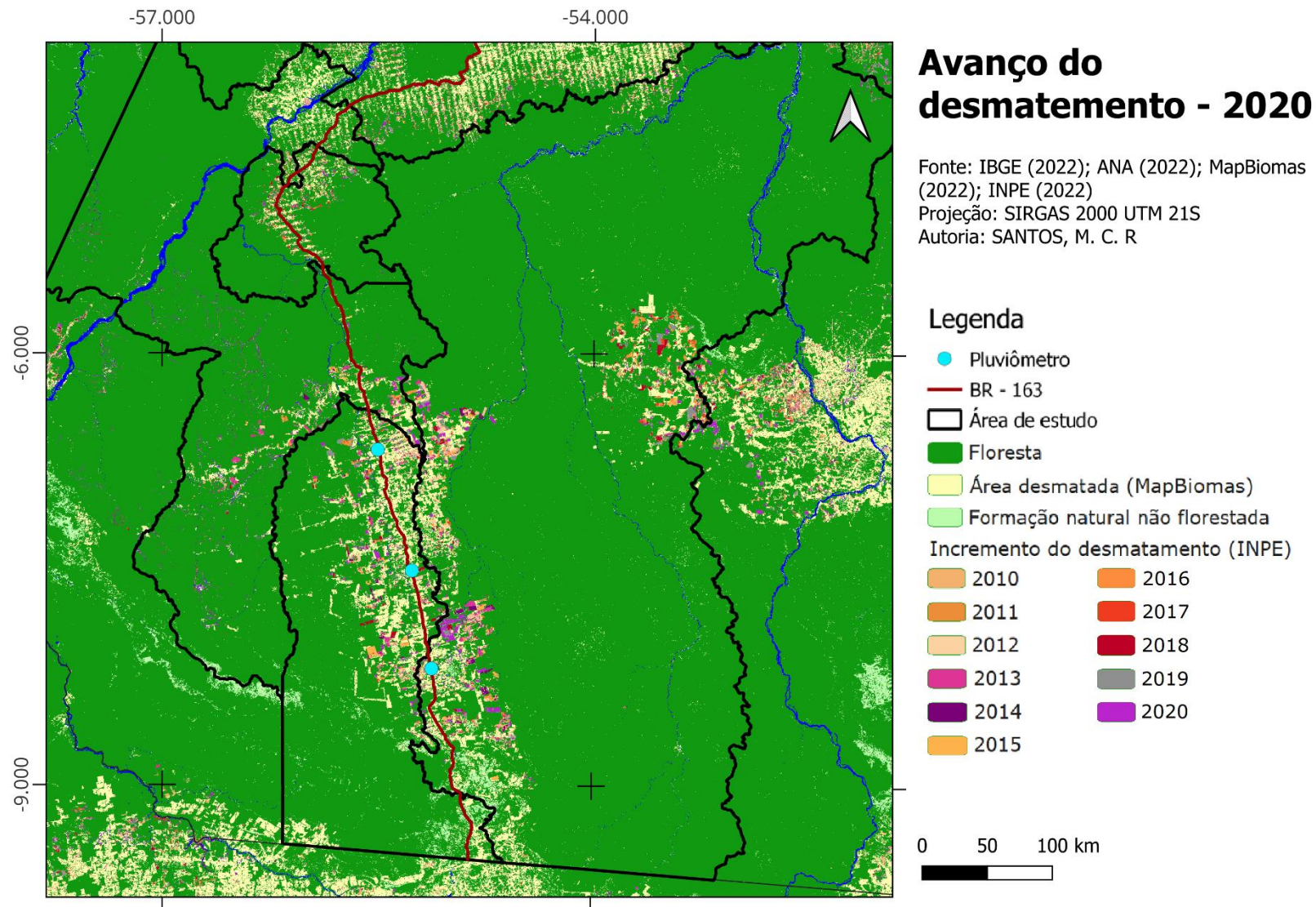


Figura 16: Avanço do desmatamento na área de estudo no ano de 2020.

Com o mapeamento do desmatamento é possível confirmar como a expansão ocorre com alguns padrões, bastante concentrada ao redor da BR-163 e da Rodovia Transgarimpeira, que se estende na porção central de Itaituba, além de seguir canais fluviais, como traçado do Rio Novo e um de seus afluentes, o Rio Surubim, um pouco ao sul da Transgarimpeira. Além disso, há um foco a oeste de Altamira, que se expande a partir de São Félix do Xingu, outro município que teve um dos maiores índices de desmatamento em 2020 (GRANDELLE, 2021).

A parte que avança para leste, de Novo Progresso para Altamira, encontra os limites das TIs Panara e Menkragnoti ao sul do estado, e segue o contorno do Rio Curuá (afluente do Rio Iriri) ao norte, que também marca o limite da TI Baú. É notável que as TIs demarcadas e regulamentadas são um obstáculo para o avanço do desmatamento em grandes extensões como ocorre no entorno da BR-163, ainda que existam pequenos focos de desmatamento no interior dessas Terras, como por exemplo, ao redor do Rio Iriri na TI Menkragnoti (Figura 17).

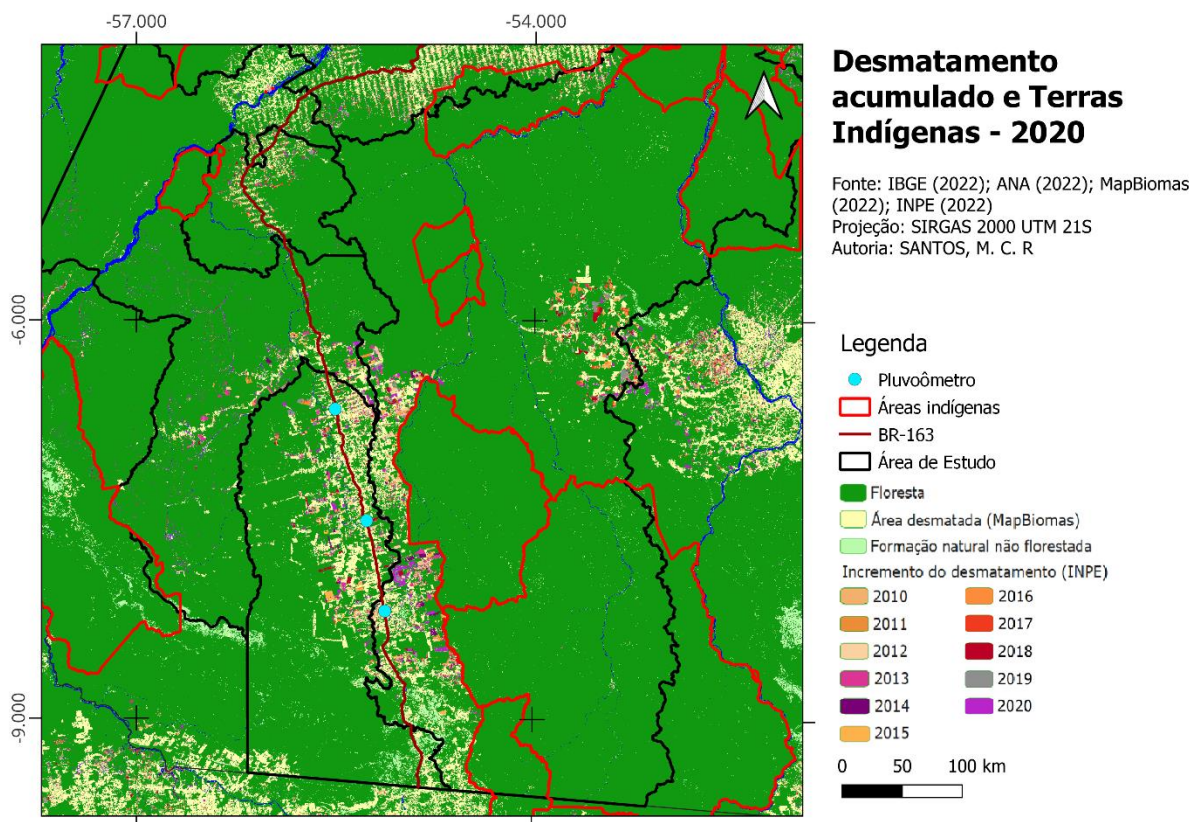


Figura 17: Padrão do desmatamento em relação às fronteiras de Terras Indígenas.

Além da avaliação dos padrões de locais de ocorrência do desmatamento, foram elaborados gráficos para uma análise quantitativa do fenômeno em cada município da área de estudo, o que permite notar uma queda no avanço do desmatamento em 2010, seguida de certa estabilidade, até ocorrer uma elevação repentina e constante a partir de 2018 (Figura 18). O recorde na variação anual para os municípios de Altamira e Novo Progresso acontece em 2018, que alcançam, respectivamente, um aumento de 91,75% e de 217,27% em relação aos índices de 2017 (Figuras 19 e 20). Já Itaituba teve um pico de aumento em 2013, com 98,81% a mais em relação ao ano anterior, e de 75,94% em 2019 (Figura 21). O Anexo A apresenta numericamente os dados brutos utilizados para o cálculo da variação percentual que ocorreu anualmente.

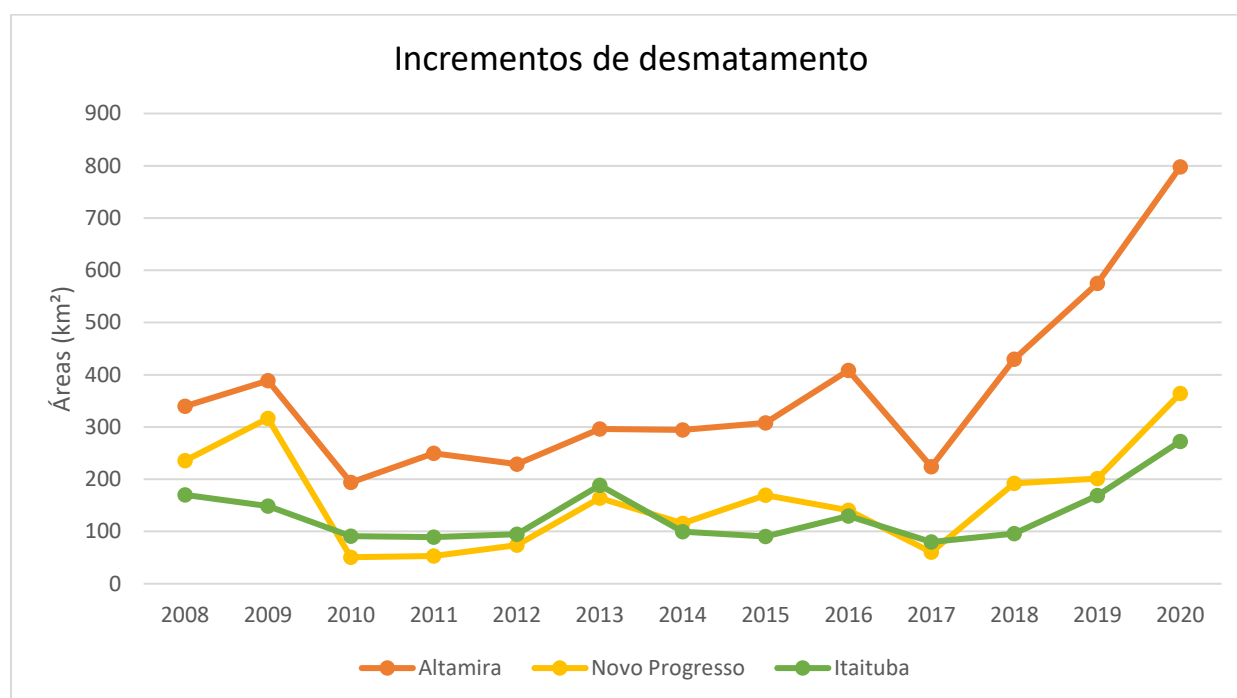


Figura 18: Incrementos de desmatamento por município. Fonte: INPE (2022).

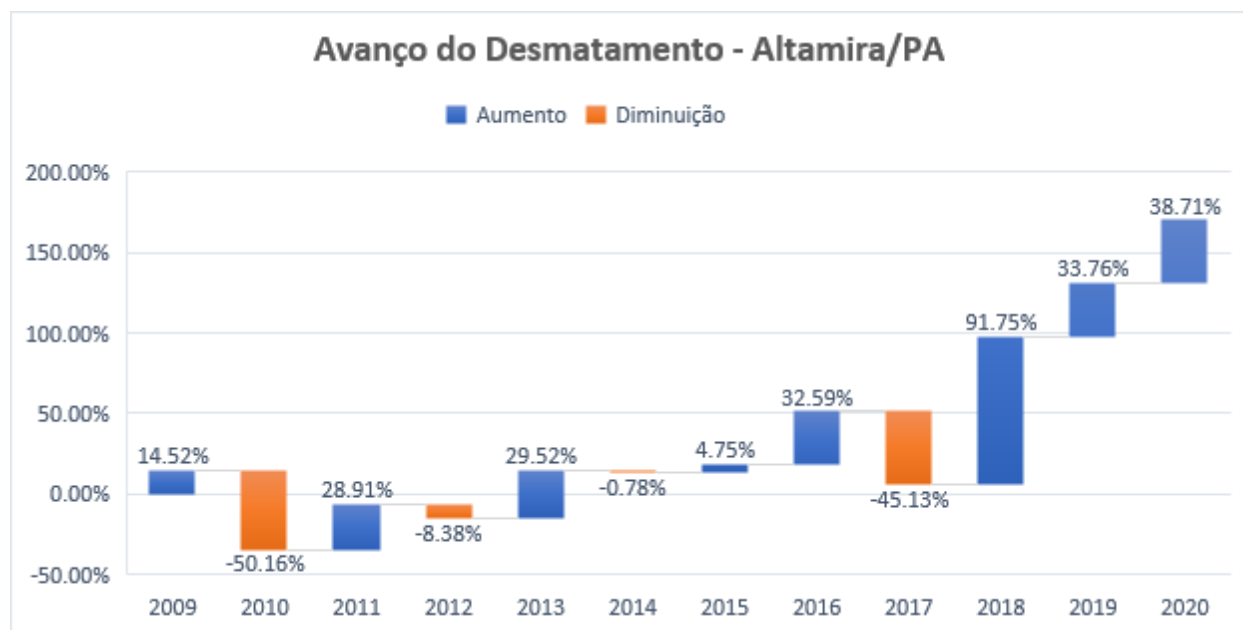


Figura 19: Variação anual do desmatamento em Altamira/PA. Fonte: INPE (2022).

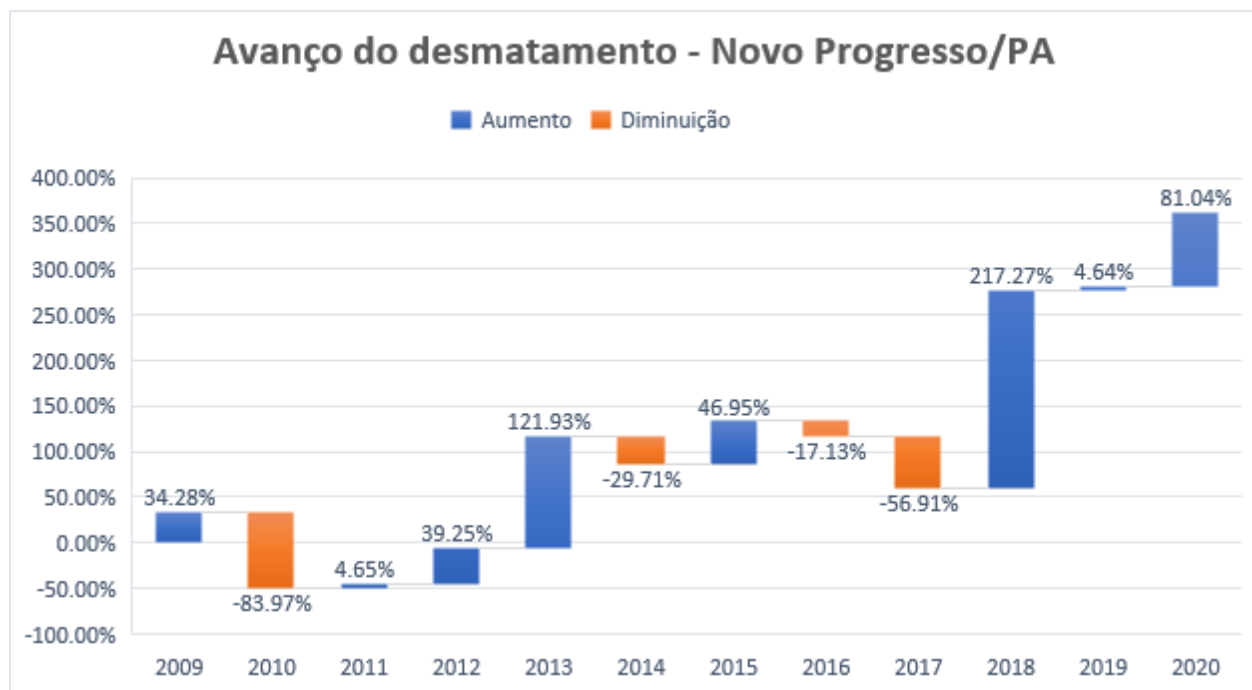


Figura 20: Variação anual do desmatamento em Novo Progresso/PA. Fonte: INPE (2022).

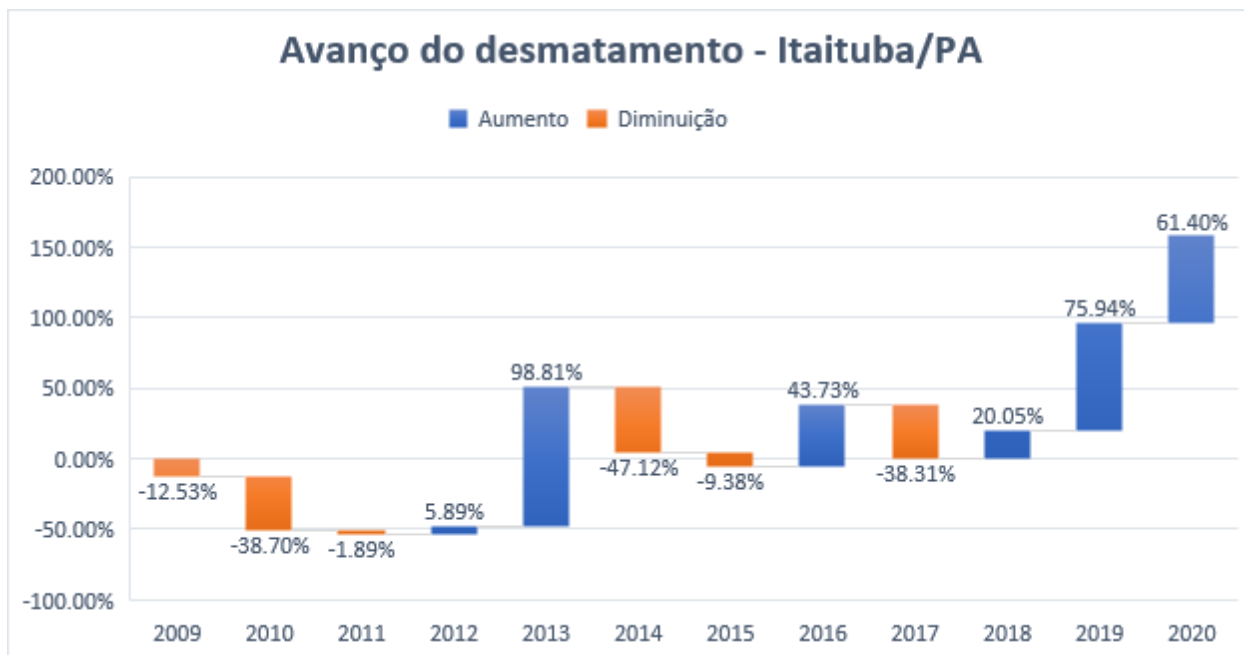


Figura 21: Variação anual do desmatamento em Itaituba/PA. Fonte: INPE (2022).

3.1. Focos de Queimadas

O Efeito Estufa, fenômeno natural da atmosfera terrestre, ocorre a partir da retenção de uma parte da radiação solar incidente no planeta por GEEs como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e os gases fluorados como os clorofluorcarbonos (CFCs). No entanto, essas moléculas são emitidas para a atmosfera em diferentes intensidades por meio das atividades humanas, como as queimadas, que influenciam diretamente na composição da atmosfera, aumentam a concentração dos GEEs e, consequentemente, a capacidade da atmosfera de reter a radiação solar, o que incrementa o efeito estufa natural (ARTAXO, 2014; NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999). Mudanças no balanço de radiação global devido às emissões de GEEs causam um aumento médio na temperatura global, levando a um desequilíbrio no sistema climático global. Estes se manifestam não apenas na forma de aumento das temperaturas médias, mas também na ocorrência de eventos extremos, como ondas de calor, inundações e precipitações extremas cada vez mais frequentes (NOBRE; REID; VEIGA, 2012).

A agricultura é uma atividade que, por ser diretamente influenciada não só pelos fatores climáticos, como o regime de chuvas, a temperatura, a umidade e a radiação solar, mas também

pela composição do solo e a geomorfologia do relevo, está sujeita aos efeitos que as mudanças na composição atmosférica podem gerar e que podem impactar na produção do setor (PORTELA; LEITE, 2016). A fotossíntese é regulada por alguns fatores, dentre os quais estão a água, a temperatura e o CO₂, que dependem do aquecimento do planeta. Caso ocorra alteração de um deles, o sistema entra em desequilíbrio, uma vez que o aumento de GEEs influencia na elevação da temperatura e, conseqüentemente, na demanda por água, que passa por um processo de evapotranspiração aumentado, estabelecendo condições distintas da adaptabilidade natural do plantio (MARGULIS, 2020).

Ao mesmo tempo, a agricultura, pecuária e atividades florestais também são responsáveis pela emissão de cerca de 30% dos GEEs. Uma das iniciativas para estimar as emissões do setor é o Relatório de Referência do Setor de Agropecuária, documento elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Grande parte das emissões do setor estão justamente relacionadas a queimadas que são utilizadas para remoção de resquícios da plantação anterior, o que gera a degradação de terras que não são recuperadas, fazendo com que ocorra o avanço do desmatamento para uma nova área para plantio (PORTELA; LEITE, 2016. LOVATO; REVILLION, 2019).

De acordo com a Lei 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proibição do uso de fogo e do controle de incêndios, o uso do fogo em vegetações é proibido, com poucas exceções, como no caso de “locais ou regiões cujas peculiaridades justifiquem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais, mediante prévia aprovação do órgão estadual ambiental competente”. A queima controlada também é permitida quando há autorização do órgão gestor de determinada Unidade de Conservação e com objetivo de “manejo conservacionista da vegetação nativa, cujas características ecológicas estejam associadas evolutivamente à ocorrência do fogo”. A legislação permite que o fogo seja utilizado inclusive para “atividades de pesquisa científica vinculada a projeto de pesquisa devidamente aprovado pelos órgãos competentes” (BRASIL, 2012).

Nepstad, Moreira e Alencar (1999) propõem uma categorização dos incêndios em três tipos principais, que são “Queimadas ou incêndios para desmatamento”, “Incêndios florestais rasteiros” e “Queimadas e/ou incêndios em áreas já desmatadas”. A primeira classe são aqueles que ocorrem intencionalmente para o estabelecimento de agricultura ou pasto. A segunda diz respeito ao fogo que atinge a camada de combustível depositada no solo das florestas, geralmente folhas e galhos

secos. A última categoria é o fogo intencional ou acidental de lavouras ou pastagens. Os autores ainda definem que queimada é o fogo colocado de forma intencional e incêndio é o que ocorre de maneira acidental.

O INPE define a cicatriz de incêndio florestal como uma classe de degradação, que tem como característica as áreas atingidas por fogo, com ou sem vegetação arbórea. A realização de queimadas é uma ferramenta utilizada, principalmente por fazendeiros, para objetivos diversos como a eliminação de resquícios de vegetação após o desmatamento, a liberação do solo após a colheita para remoção de palhas e eventuais resíduos da plantação anterior, além do controle de plantas invasoras (RIBEIRO, 2017).

Além de monitorar o avanço do desmatamento pelo PRODES, o INPE também possui o Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (DETER), que faz o levantamento de alertas de alteração do uso do solo e da cobertura florestal na Amazônia, e funciona como suporte à fiscalização realizada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Os dados também são disponibilizados pelo portal Terra Brasilis, e é possível filtrar os dados por período e por município. Com essas informações, foram elaborados os gráficos para análise quantitativa, que mostram o número de focos de incêndio a cada ano, por município da área de estudo, assim como a variação anual da quantidade de queimadas detectadas (Figura 22, 23, 24 e 25).

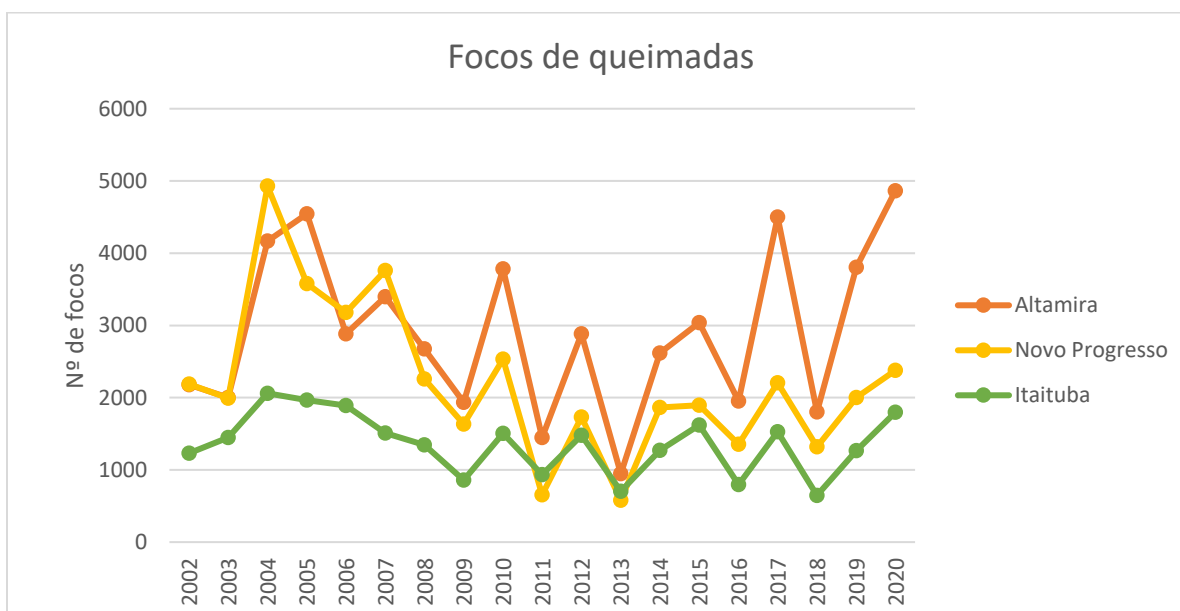


Figura 22: Quantidade de focos de queimadas por ano e por município. Fonte: INPE (2022).

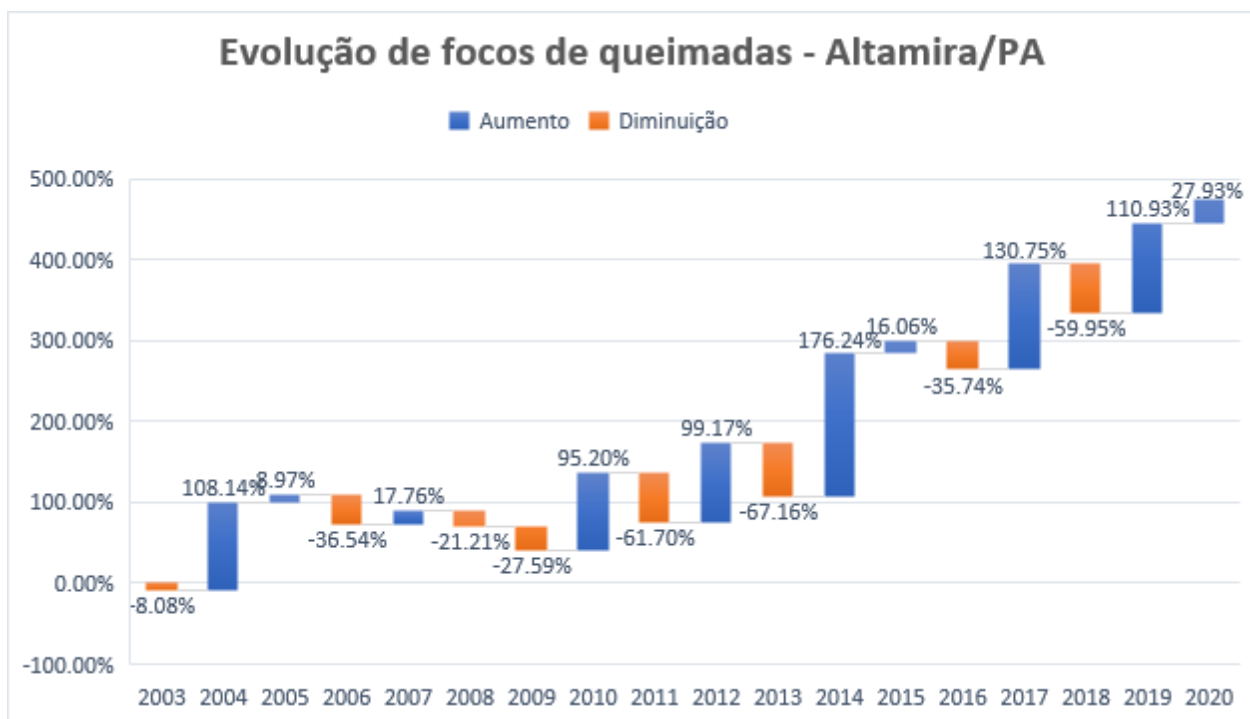


Figura 23: Variação anual de focos de queimadas em Altamira/PA. Fonte: INPE (2022).

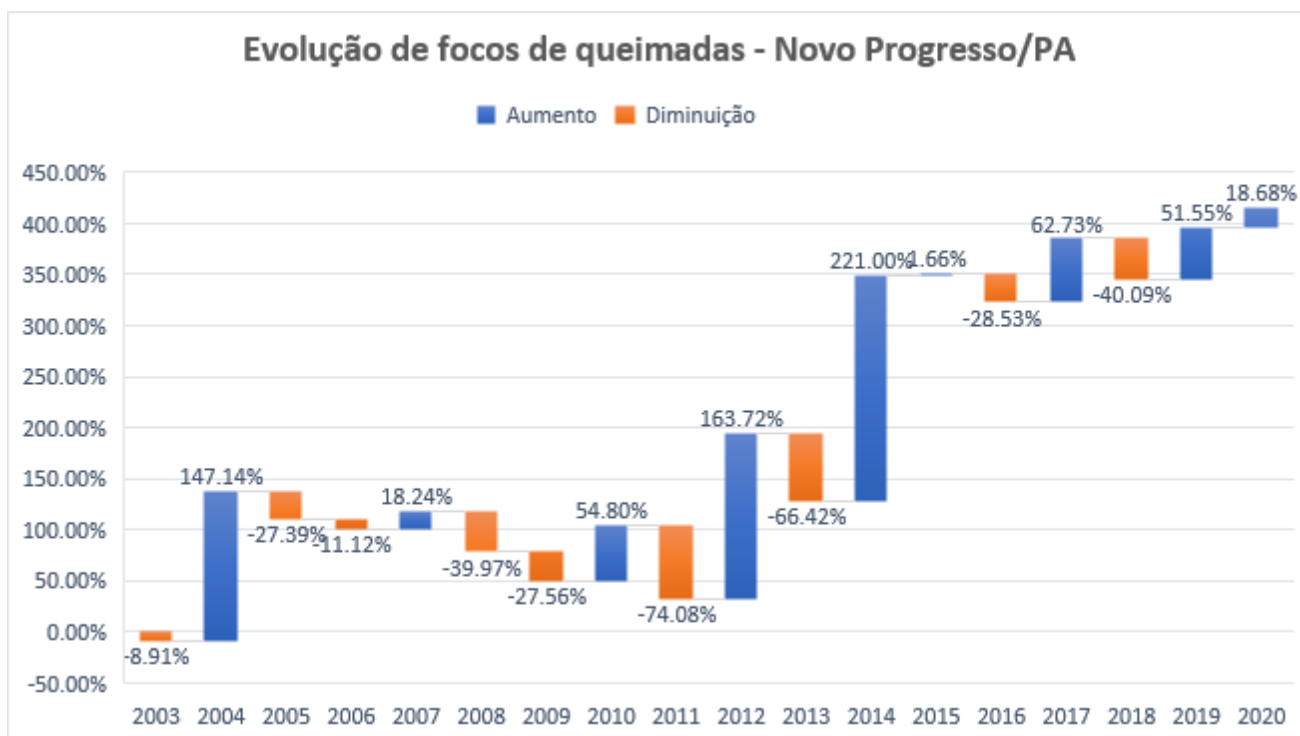


Figura 24: Variação anual de focos de queimadas em Novo Progresso/PA. Fonte: INPE (2022).

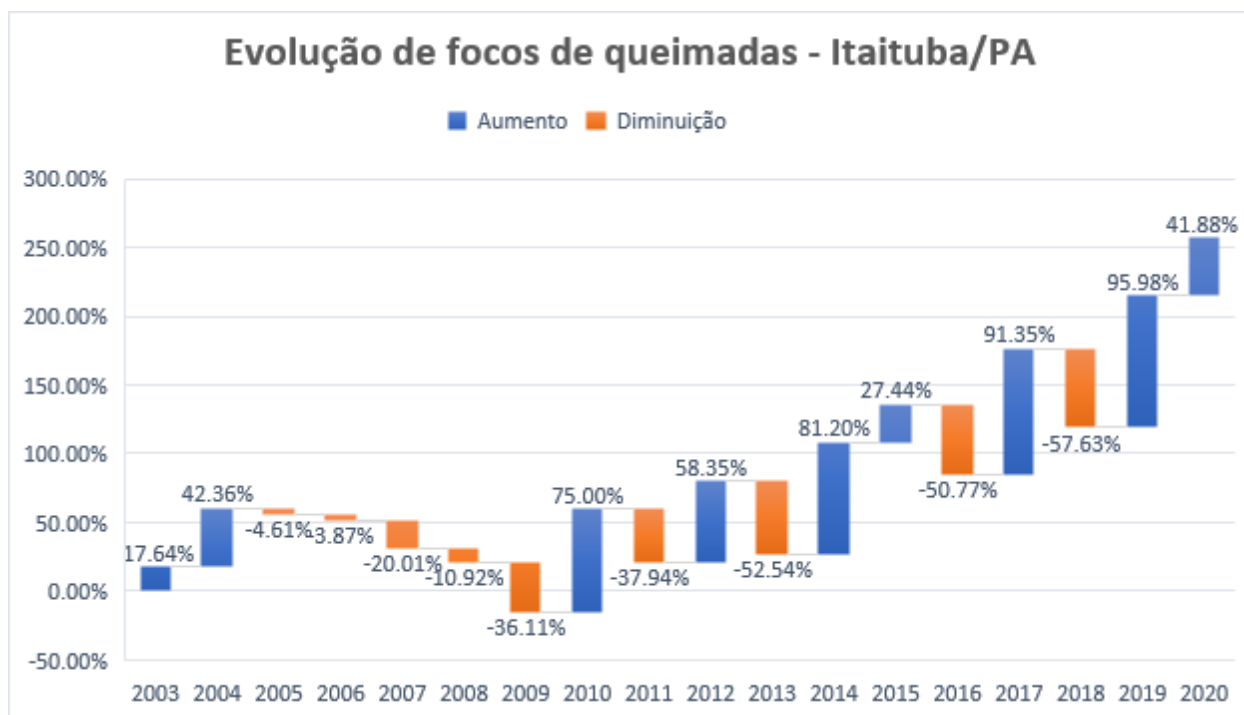


Figura 25: Variação anual de focos de queimadas em Itaituba/PA. Fonte: INPE (2022).

4. ANÁLISE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A análise dos dados pluviométricos corresponde a um período de 21 anos, de 01 de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2020, para que fosse possível observar características mais próximas de uma Normal Climatológica. Para isso, foram utilizados os dados disponíveis no Portal HidroWeb, que integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Os dados fluviais e pluviométricos que são disponibilizados no portal são coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e são registros diários de medições feitas em campo. A RHN é coordenada pela Agência Nacional de Águas (ANA) e possui uma rede de 4.641 pontos de monitoramento a nível nacional, operados por entidades parceiras ou contratadas pela ANA e são divididos entre 1.874 estações fluviométricas (de monitoramento de aspectos relacionados aos rios, como vazão, nível, qualidade de água) e 2.767 estações pluviométricas, de monitoramento de chuvas.

As estações de monitoramento do tipo pluviométrica que foram utilizadas estão identificadas na Figura 4 (Seção 2) e seus dados foram submetidos à análise prévia para

identificação de dados duvidosos e faltantes, que foram substituídos pela média pluviométrica do mesmo dia nos outros anos avaliados. As planilhas disponibilizadas pela ANA, além dos totais diários, mensais e anuais, indicam também quatro possíveis status da coleta: 0 = Branco; 1 = Real, 2 = Estimado; 3 = Duvidoso e 4 = Acumulado. Com o tratamento de dados e a avaliação da tabela completa, foram elaborados os gráficos que constam com os totais pluviométricos anuais (Figura 26, 27 e 28). Também foi elaborado o gráfico com a média dos resultados entre as três estações pluviométricas analisadas para uma visualização abrangente da área de estudo (Figura 29).

Os anos de maior índice pluviométrico para o pluviômetro km 1130 foram 2010, 2012 e 2006, e o menor índice foi registrado em 2003. Para o pluviômetro km 1027 o maior registro foi em 2014, seguido por 2009, e o menor foi em 2007.

O pluviômetro 947 apresenta distorções nos dados a partir de 2016, com totais pluviométricos ultrapassando 3000mm e 4000mm, fatos que não foram registrados nos demais postos pluviométricos dentro da mesma classificação climática. O banco de dados foi revisado e os dados classificados com o status “duvidoso” foram desconsiderados do cálculo de total pluviométrico anual. Porém, apenas o mês de abril de 2020 possui essa classificação, o que corresponde a 535,9mm subtraídos do total, e outubro de 2019 possui 8 dias considerados duvidosos (total de 185,7mm). Considerando que mesmo após a revisão dos dados e a remoção dos dados duvidosos os totais pluviométricos de 2016 a 2019 continuaram muito elevados para a região, apenas esses anos registrados no pluviômetro 947 serão desconsiderados para a análise dos resultados realizada na Seção 4.4.

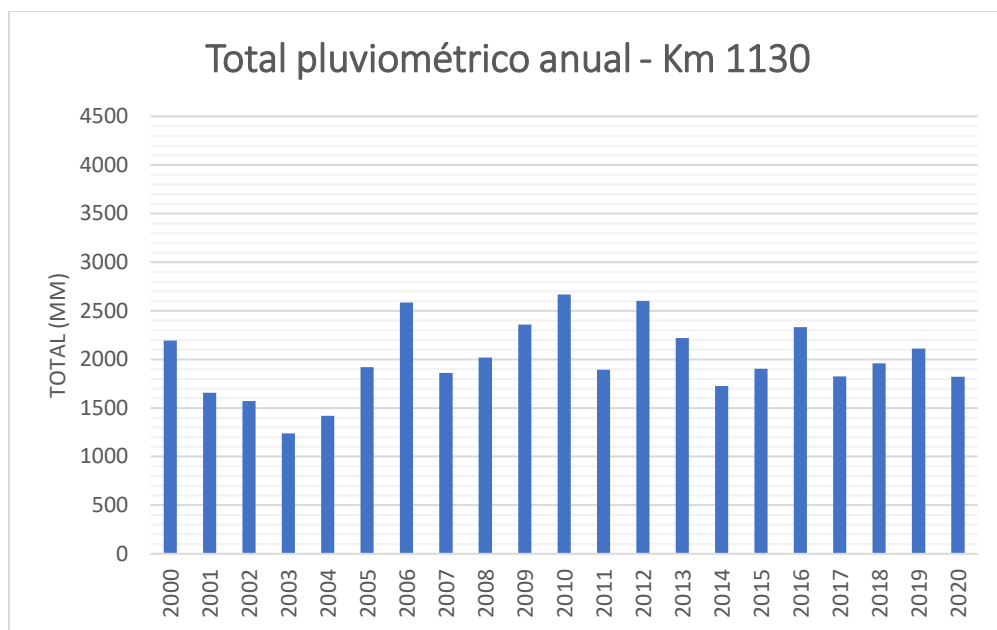


Figura 26: Total pluviométrico anual do pluviômetro km 1130. Fonte: ANA (2022).

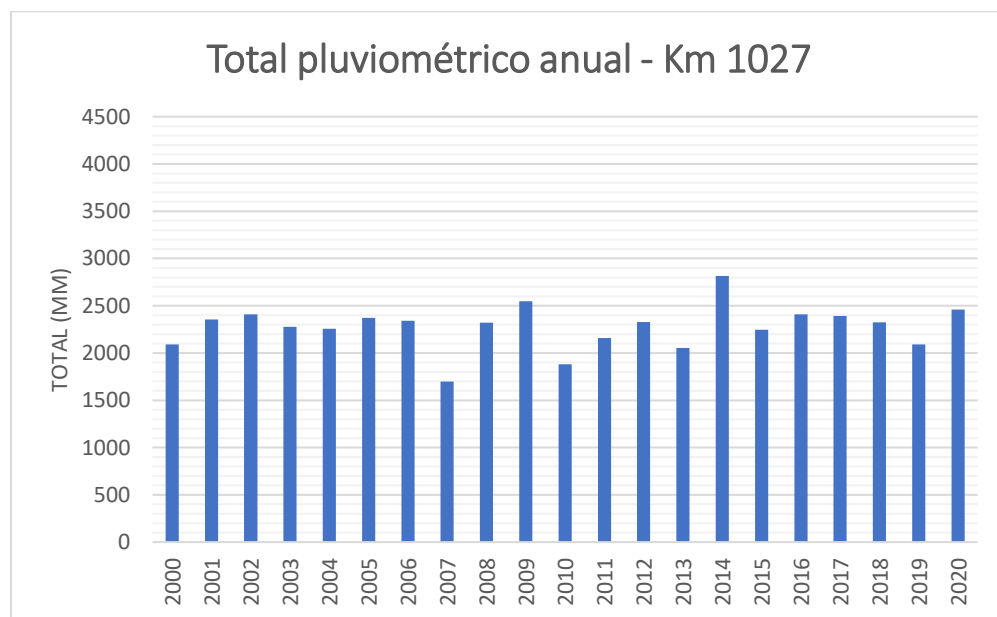


Figura 27: Total pluviométrico anual do pluviômetro km 1027. Fonte: ANA (2022).

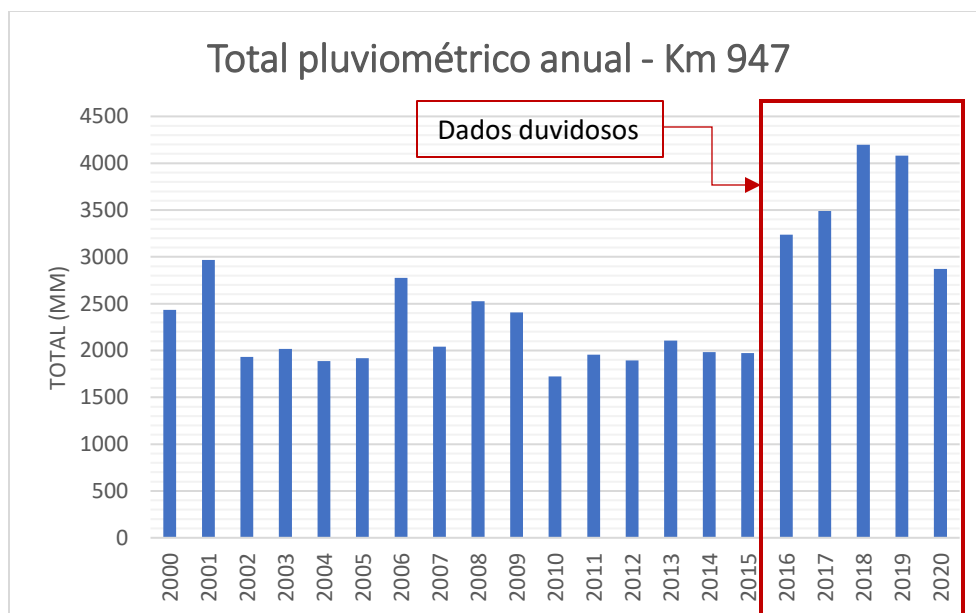


Figura 28: Total pluviométrico anual do pluviômetro km 1027. Fonte: ANA (2022).

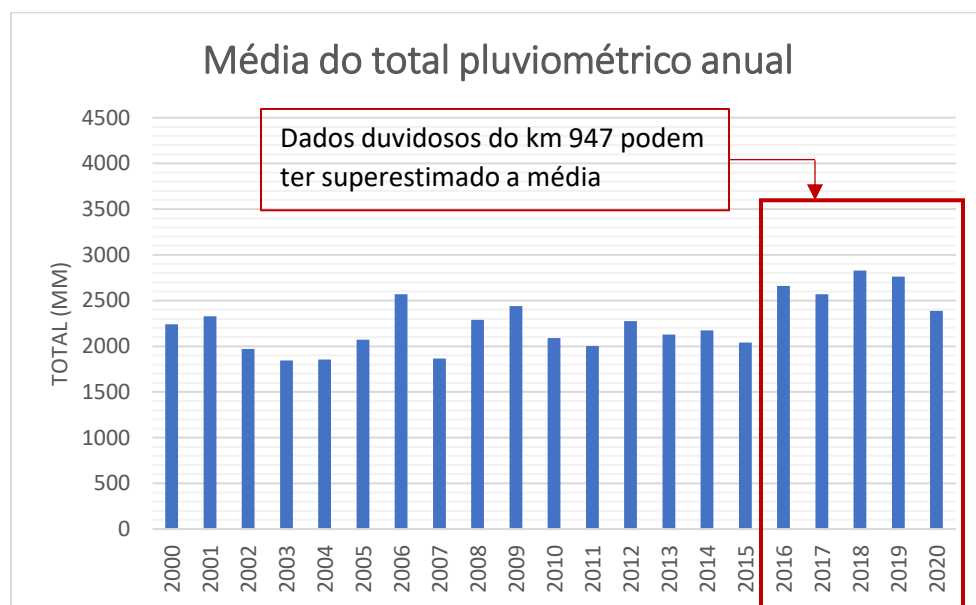


Figura 29: Média anual dos pluviômetros km 1130, km 1027 e km 947. Fonte: ANA (2022).

4.1. Análise de Eventos Intensos: Técnica do Boxplot

Proposta por Galvani e Luchiari (2005), a técnica do boxplot foi utilizada pelos autores como uma forma de definir o regime pluviométrico entre cinco categorias: super seco; seco; normal; úmido e super úmido. A metodologia foi aplicada, a princípio, para uma avaliação dos

totais pluviométricos mensais do município de Piracicaba/SP, porém os autores sugerem que o Boxplot pode ser reproduzido para outras localidades, com novos intervalos inter quartílicos que representem os dados pluviométricos da nova localidade.

A interpretação do boxplot passa pela definição de alguns conceitos:

- O valor máximo (max) e o valor mínimo (min) são, respectivamente, o maior e o menor valor encontrado na série de dados, e são informações que revelam o tamanho dos dados trabalhados;
- A mediana é aplicável em séries extensas de dados com extremos que podem contaminar a média e, portanto, sub ou superestimar as análises;
- Os quartis dividem o conjunto de dados em quatro partes, cada uma com 25% dos dados da série. Os valores que ultrapassam o limiar (*upper fence*), são os eventos considerados muito intensos.

Diante disso, essa técnica foi adaptada para a avaliação dos valores de precipitação pluviométrica diária para determinar a intensidade dos eventos diários que ocorreram ao longo dos anos no período estudado. O critério de quartis segue o modelo dos autores, porém a classificação é adaptada para cinco novas categorias de eventos: muito fraco; fraco; normal; intenso e muito intenso (Tabela 3).

Tabela 3: Intervalos para classificação de intensidade de eventos pluviométricos. Fonte: Adaptado de Galvani e Luchiari (2005).

Precipitação diária (mm)	Classificação
5% menores da série (outliers)	Muito fraco
Entre Vmin e 1º Quartil	Fraco
Entre 1º Quartil e 3º Quartil	Normal
Entre 3º Quartil e Vmax	Intenso
5% maiores da série (outliers)	Muito Intenso

A série de dados disponibilizada pela ANA possui classificações para os seus dados (Seção 4), e os dados definidos com o status de “acumulados” são aqueles que correspondem à soma dos

mms de mais de um evento pluviométrico, por isso, quando ultrapassaram o limiar, foram desconsiderados para a análise de eventos intensos, já que não ocorreram no período de 24 horas. Porém, esse mesmo dado não foi desconsiderado para a soma do total pluviométrico anual, pois os dias anteriores ao acúmulo são considerados como zero, ou vazio, ou seja, não afeta o total. Os boxplots foram confeccionados com todos os dados diários, exceto os dias considerados sem chuva pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que define que os dias sem chuva são aqueles com registros menores que 1mm, pois se considera que esses totais de chuva não possuem uma contribuição hidrológica no armazenamento de águas. Como resultados foram obtidos os limiares de 60.8mm para o pluviômetro km 1130, de 51mm para o km 1027 e de 61.6mm para o km 947 (Figuras 30, 31 e 32).

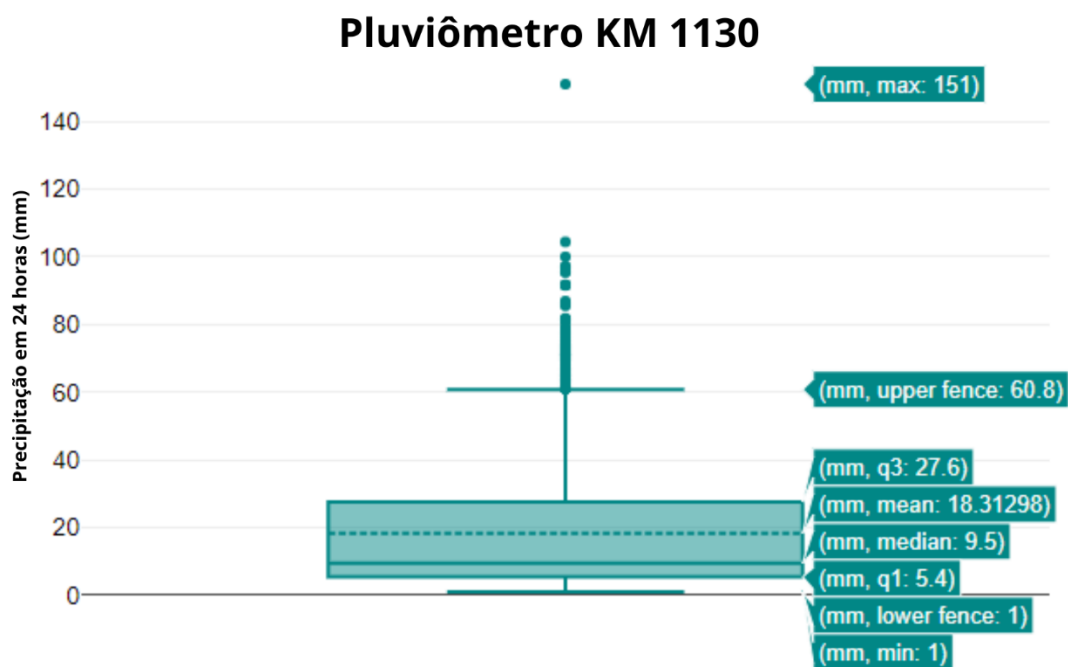


Figura 30: Boxplot dos valores pluviométricos do pluviômetro km 1130. Fonte: ANA (2022).

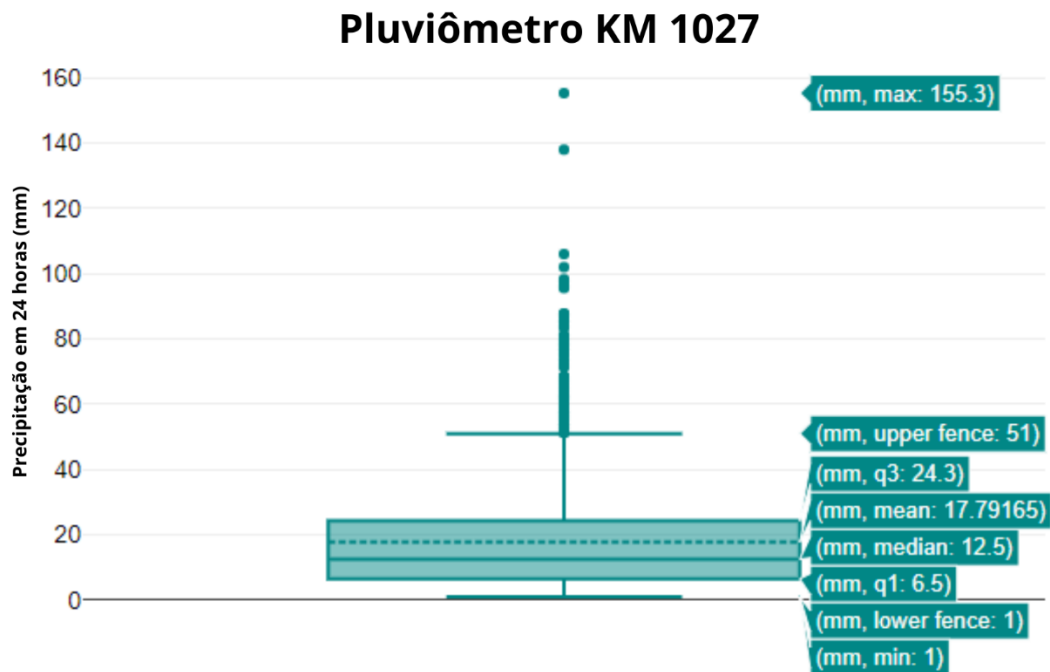


Figura 31: Boxplot dos valores pluviométricos do pluviômetro km 1027. Fonte: ANA (2022).

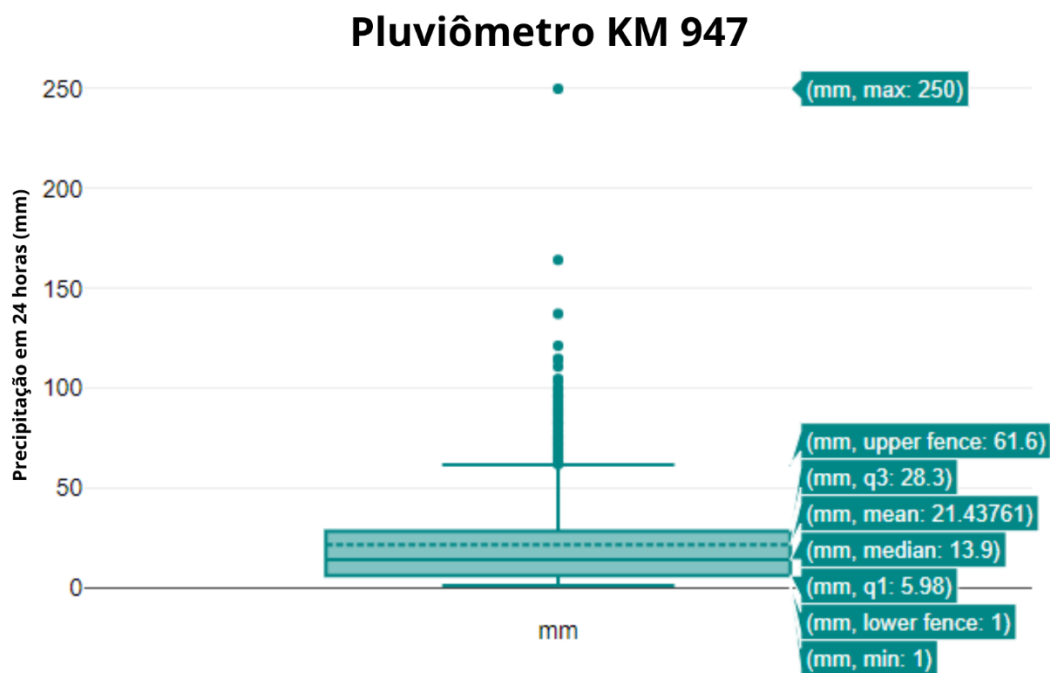


Figura 32: Boxplot dos valores pluviométricos do pluviômetro km 927. Fonte: ANA (2022).

Com os resultados dos limiares, a tabela de dados de cada pluviômetro foi avaliada para encontrar os eventos considerados “Muito Intensos” e verificar quantos eventos mais extremos ocorreram, considerando a realidade da área de estudo (Figuras 33, 34 e 35). No km 1130, 2010 foi o ano com maior número de eventos acima do limiar de 60.8mm, com 12 dias no total, seguido por 2006, com 10 eventos. O pluviômetro km 1027 registrou o maior número de dias com chuva muito intensa em 2009, com 12 eventos, e 11 dias “muito intensos” foram registrados em 2005 e 2006, seguindo uma tendência próxima ao primeiro pluviômetro. O km 947 registra os anos de 2001 e 2006, como aqueles com o maior número de eventos “Muito Intensos”, são 11 e 9, respectivamente (os dados de 2016 a 2020 foram desconsiderados, por conta da incerteza na precisão do registro).

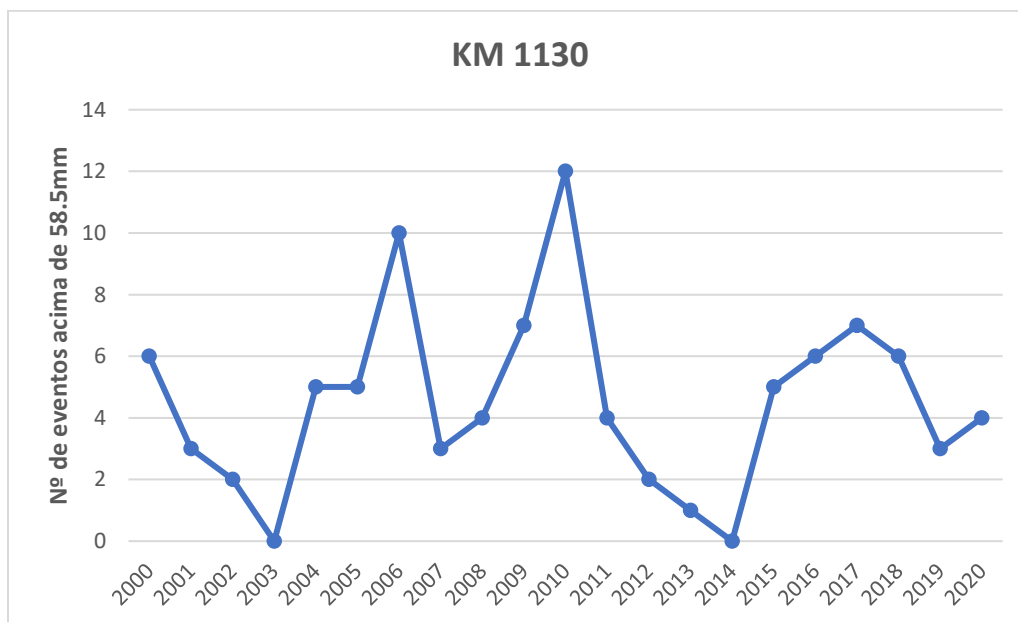


Figura 33: Número de eventos “Muito Intensos” no pluviômetro km 1130. Fonte: ANA (2022).

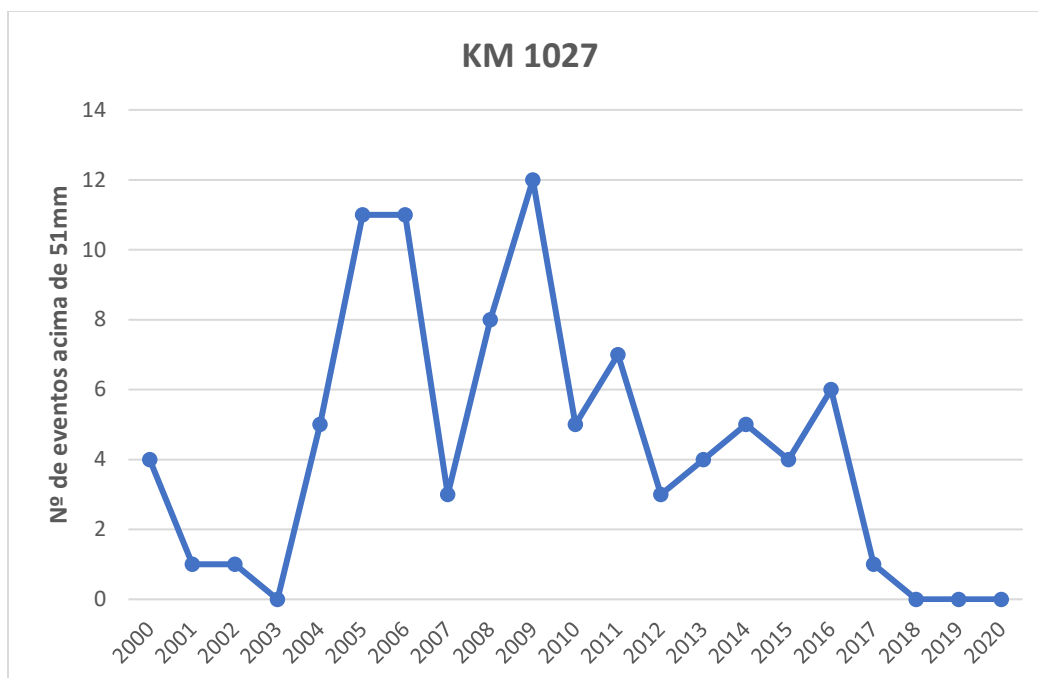


Figura 34: Número de eventos “Muito Intensos” no pluviômetro km 1027. Fonte: ANA (2022).



Figura 35: Número de eventos “Muito Intensos” no pluviômetro km 947. Fonte: ANA (2022).

4.2. Análise Sinótica

A fórmula da pressão atmosférica corresponde a $p = F/A$. Onde p = pressão, F = força e A = Área. Ou seja, é o peso que uma coluna de ar exerce por unidade de área em uma posição. No nível do mar uma coluna de ar com base de 1cm^2 tem um peso aproximado de 1kg , uma pressão que equivaleria a uma carga de mais de 500 toneladas em um telhado de 50m^2 , porém a pressão do ar por baixo do telhado contrabalança a pressão sobre o telhado, ou seja, a pressão exercida em um ponto é a mesma em todas as direções. (SCAIFE, 2017).

A pressão atmosférica não possui um valor fixo, pois ele diminui com o aumento da altitude, e varia também em termos horizontais, de acordo com a temperatura. Quanto maior for uma variável, menor será a outra, dessa forma, conforme a temperatura aumenta, a pressão diminui. Essas variações de pressão levam a regiões de baixa e de alta pressão, áreas de ciclone e anticiclone, respectivamente, que possuem características distintas (SCAIFE, 2017).

As condições favoráveis para a formação de nebulosidade e ocorrência de chuva são as áreas de baixa pressão, indicadas letra B em cartas sinóticas, pois nessas regiões o ar tende a subir e essa ascensão provoca a condensação do vapor de água. Já os locais alta pressão atmosférica, representados pela letra A nas cartas sinóticas, o movimento do ar é descendente, o que impossibilita a formação de nuvens de chuva (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2016).

Assim como a superfície terrestre possui representações imagéticas realizadas pela cartografia, a pressão atmosférica também pode ser representada e localizada espacialmente através de uma carta sinótica. Este documento representa graficamente o campo de pressão em relação ao nível do mar, e é uma forma de identificar e avaliar as condições da atmosfera com base em sistemas meteorológicos que atuam em uma determinada área. A leitura da carta oferece uma visão bastante completa de eventos meteorológicos diante da quantidade de informações que são possíveis de obter. Um exemplo é o gradiente de pressão, indicado pelo espaçamento entre as isolinhas de pressão, que determina a intensidade do vento: quanto mais estreito o espaço entre isolinhas, mais abrupto é o gradiente, o que indica uma intensidade maior do vento.

As cartas sinóticas são padronizadas em relação ao horário de Greenwich ou “hora zulu”, para que a leitura possa ser feita em qualquer lugar do mundo sem interferência do fuso horário. Logo, ao acompanhar cartas sinóticas consecutivas, além de terem importância para a previsão do

tempo por mostrarem condições para formação de sistemas meteorológicos, também representam uma forma confiável de analisar as causas de eventos pluviométricos passados. Isso ocorre pois o documento indica não só as isóbaras, mas também os locais de baixa e alta pressão, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e outros sistemas meteorológicos como o cavado. As frentes também possuem suas representações, e são fenômenos que indicam o encontro de duas massas de ar de características diferentes que geram uma zona de descontinuidade atmosférica, sendo a frontogênese o processo de origem e frontólise sua dissipação (Figura 36).

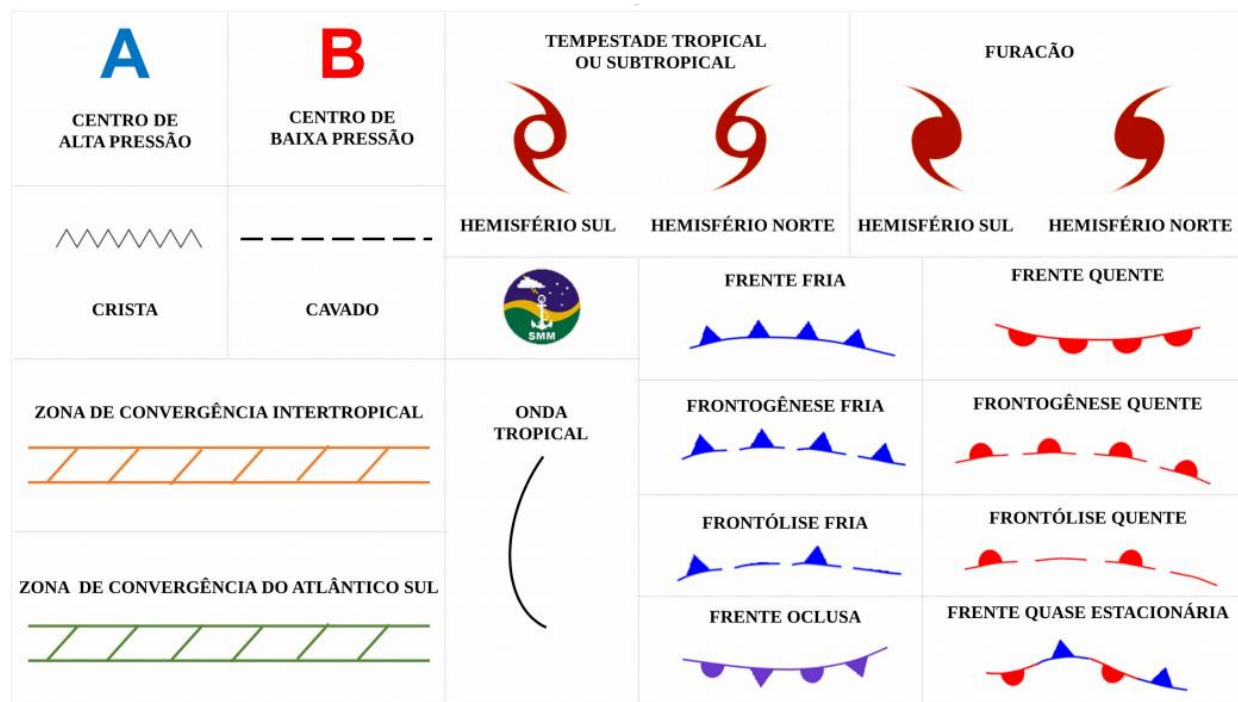


Figura 36: Simbologia dos sistemas representados em cartas sinóticas. Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

4.2.1. Cartas Sinóticas dos Eventos

Cada data com um valor pluviométrico que ultrapassou o limiar do respectivo pluviômetro foi selecionada para que a carta sinótica fosse avaliada, a fim de checar a situação atmosférica no local, no dia do evento, para definir o sistema meteorológico que deu origem ao evento intenso.

Com as datas selecionadas, foram checadas as coincidências entre os pluviômetros e verificadas as recorrências entre as estações do ano. No total, entre os três pluviômetros avaliados, 143 dos eventos acima do limiar ocorreram no verão, 102 na primavera, 60 no outono e apenas 10 no inverno, dos quais a ANA considera um dos dados como *duvidoso*.

Como a maioria dos eventos intensos ocorre expressivamente no verão e na primavera, grande parte das gêneses dos sistemas meteorológicos atuantes nessas estações é a mesma, como é possível observar nas Figuras 37, 38, 39, 40, 41 e 42, que são do período do verão, variando entre os meses de janeiro, fevereiro e março de 2016 a 2020. Todas as Cartas Sinóticas apresentadas foram adaptadas com a inclusão uma indicação da área de estudo, para que a leitura dos eventos seja facilitada.

Em todas elas existem elementos em comum atuando no período que podem explicar a pluviosidade mais elevada que foi registrada. Um deles é a ZCIT, um dos sistemas meteorológicos mais importantes na distribuição das chuvas em regiões próximas à linha do equador tanto no hemisfério sul, como no norte, devido à oscilação longitudinal ao longo do ano. Esse sistema ocorre na área de convergência dos ventos alísios dos dois hemisférios, o que contribui para a formação de nebulosidade. O período em que a ZCIT se encontra mais atuante no hemisfério sul é o verão, o que faz com que as médias pluviométricas locais sejam elevadas, principalmente nas regiões Norte e Nordeste.

Outro sistema atuante na região é a ZCAS, que aparece em quatro das cartas sinóticas selecionadas (Figuras 38, 39, 40 e 41). Assim como a ZCIT, é uma área de convergência com formação de nebulosidade acentuada, porém sua origem está relacionada com a interação de outros sistemas meteorológicos como as frentes frias, o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis do Nordeste e a Alta da Bolívia. Sua atuação provoca chuvas intensas por um período prolongado, desde o sul da região Norte até o Sudeste brasileiro.

Além da atuação das Zonas de Convergência na região no período do verão, e na primavera com menor intensidade, os principais sistemas que influenciam a pluviosidade na região em escala local são as brisas fluviais associadas ao gradiente de temperatura de superfície da água e da terra, ocasionando uma baixa pressão na superfície terrestre (SANTOS *et al*, 2014).

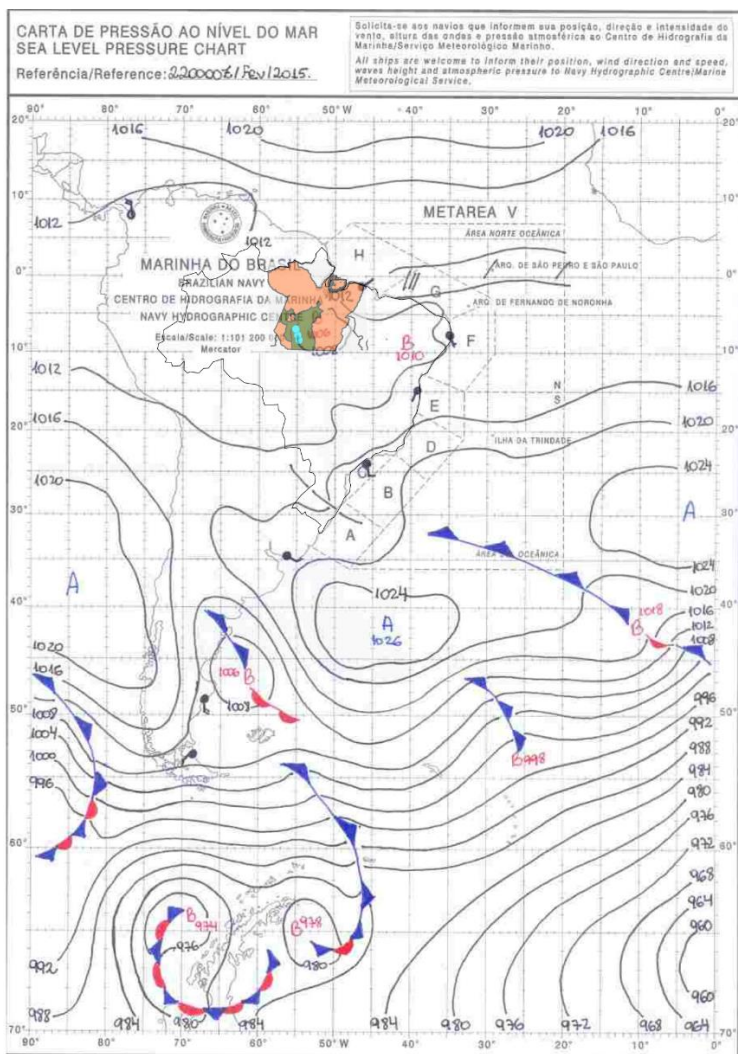


Figura 37: Carta Sinótica do dia 22 de fev. de 2015 – 00Z.

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

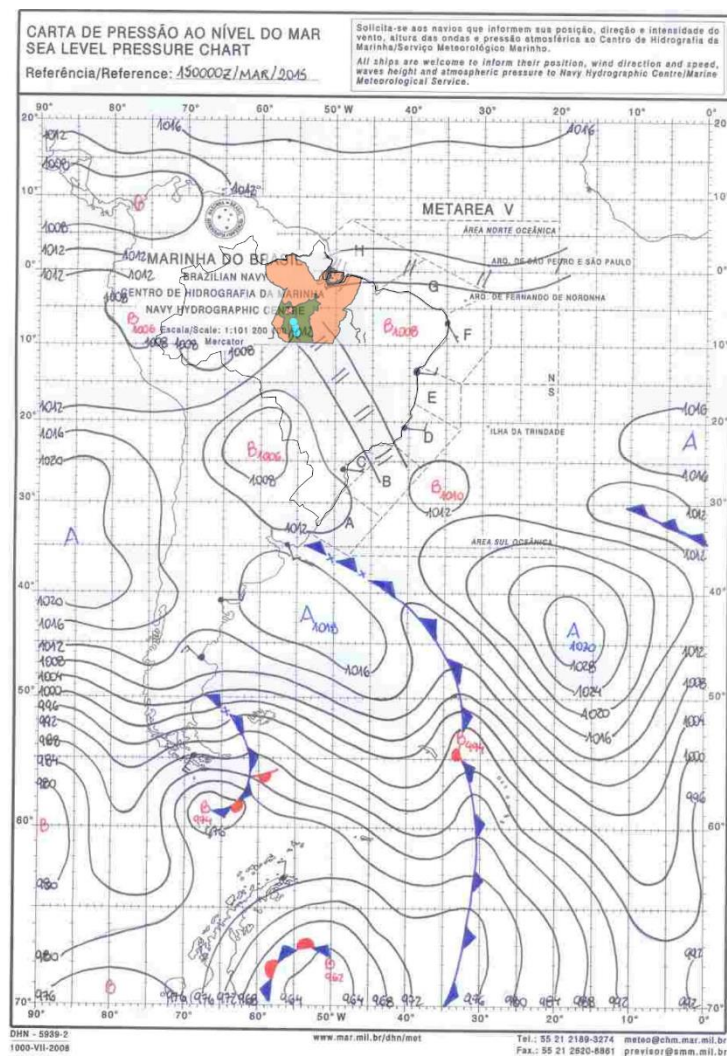


Figura 38: Carta Sinótica do dia 15 de mar. De 2015 – 00Z.

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

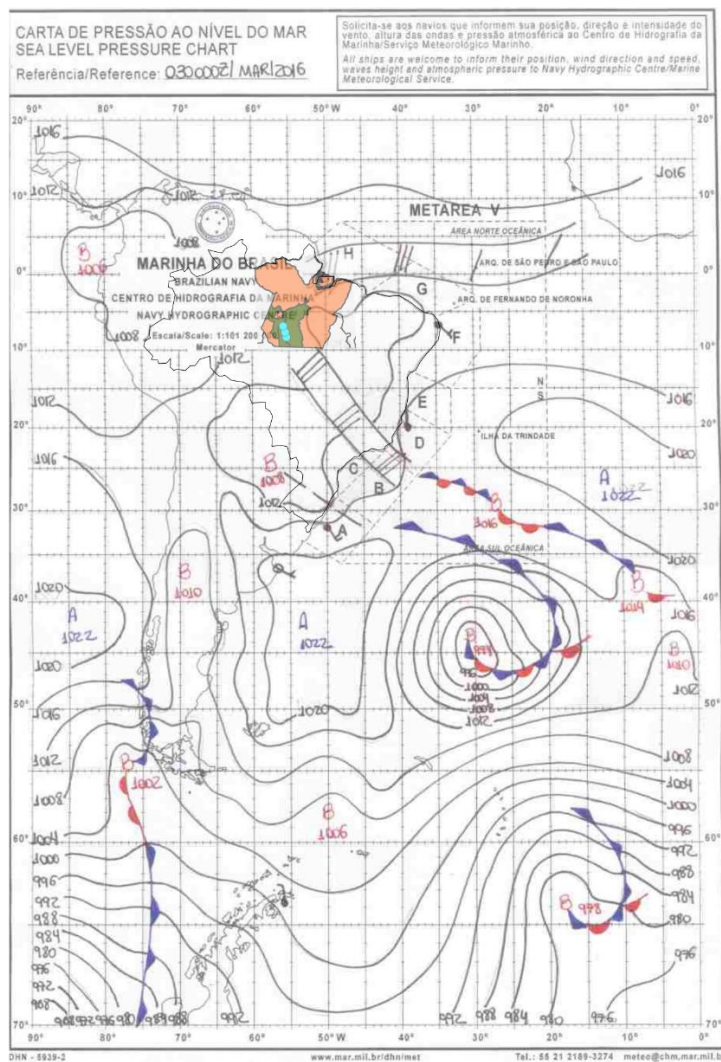


Figura 39: Carta Sinótica do dia 03 de mar. de 2016 – 00Z.

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

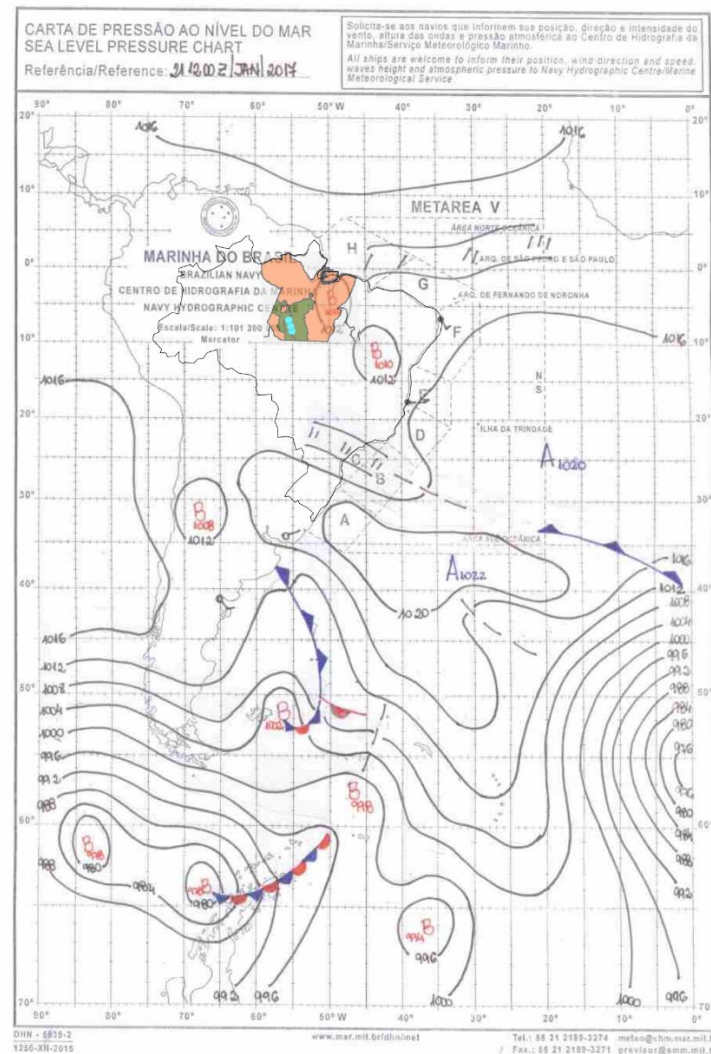


Figura 40: Carta Sinótica do dia 21 de jan. de 2017 – 12Z.

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

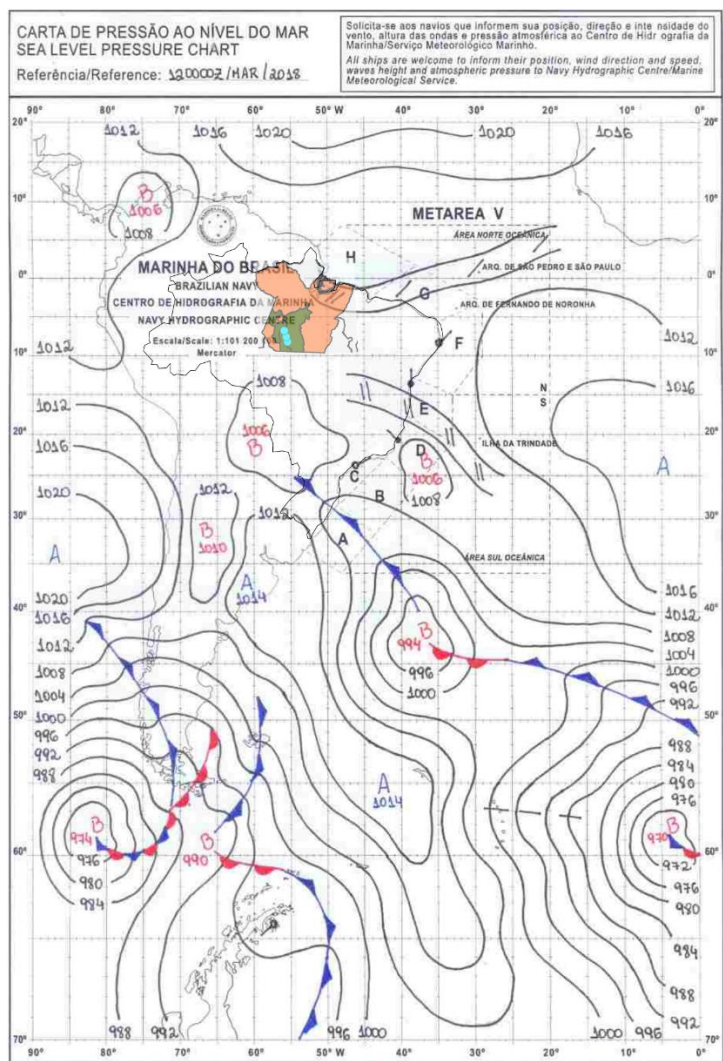


Figura 41: Carta Sinótica do dia 12 de mar. de 2018 – 00Z.

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

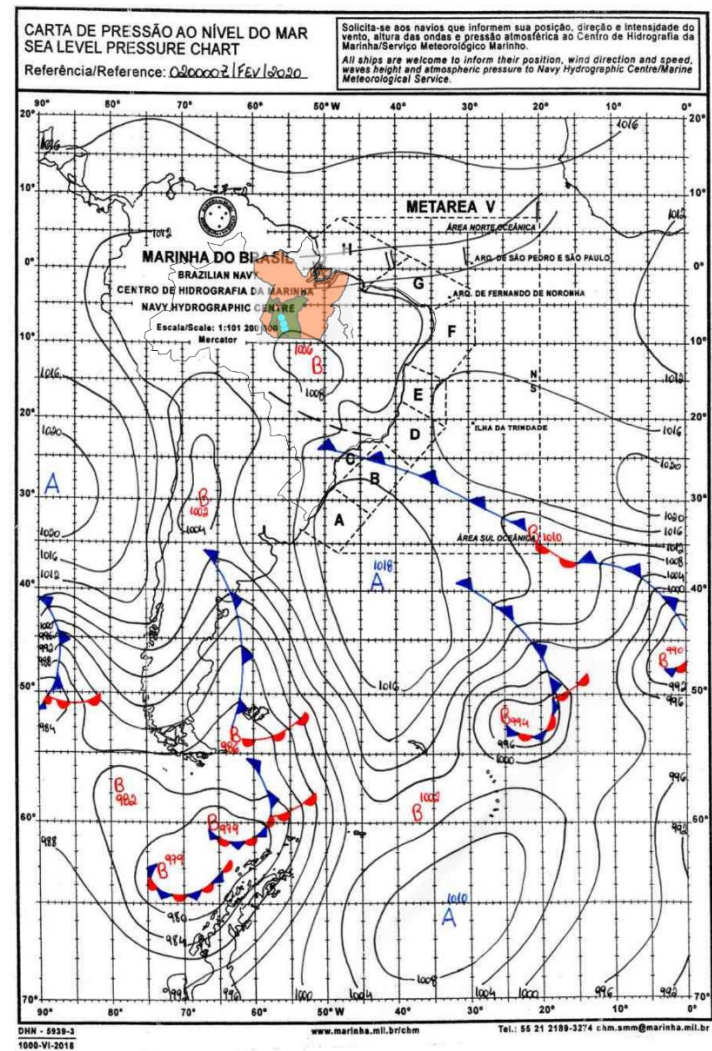


Figura 42: Carta Sinótica do dia 02 de fev. de 2020 – 00Z.

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

Os sistemas que atuam no outono e no inverno estão identificados nas Figuras 43, 44, 45, 46 e 47. Nessas estações do ano é possível notar a ausência da ZCAS e o deslocamento da ZCIT mais ao norte, o que explica as menores médias pluviométricas para os meses de junho, julho e agosto, caracterizando o período seco do ano. Isso evidencia a grande influência exercida por esses dois sistemas meteorológicos na distribuição das chuvas ao longo do ano na região (MENEZES; FERNANDES; ROCHA, 2015).

Ainda que 75,98% dos eventos muito intensos tenham ocorrido no verão e na primavera e apenas 3,95% no inverno, nessa época do ano existem outros sistemas atmosféricos que, quando ocorrem de forma conjunta podem ocasionar um evento pluviométrico considerado muito intenso. Um exemplo é a atuação de frentes frias em três datas (Figuras 43, 44 e 46), que alcançam o Centro-Oeste e o sul da região Norte, associadas a sistemas de baixa pressão, próximos a área de estudo. As Figuras 43 e 46 também apresentam outra zona de instabilidade atmosférica chamada de Onda Tropical. Esse sistema é um tipo de cavado que se move de leste a oeste e, por ser uma zona de baixa pressão, também apresenta nebulosidade e tempestades.

A Figura 45 apresenta uma zona de baixa pressão atmosférica próxima à área de estudo. Além disso, há a representação de dois furacões: Isaac e Helene. A Figura 47 possui zonas de baixa pressão e apresenta uma situação parecida à anterior, porém anterior à formação do furacão, com a representação de duas tempestades tropicais.

Os principais sistemas meteorológicos que influenciam a formação das chuvas na região no período do outono e do inverno são, portanto, os sistemas frontais, associados à convecção local. A variação da força e do alcance da frente fria, assim como a variação mais ou menos abrupta do gradiente de pressão podem gerar eventos pluviométricos mais intensos nesses períodos, ainda que a predominância seja da estiagem (SANTOS *et al*, 2014).

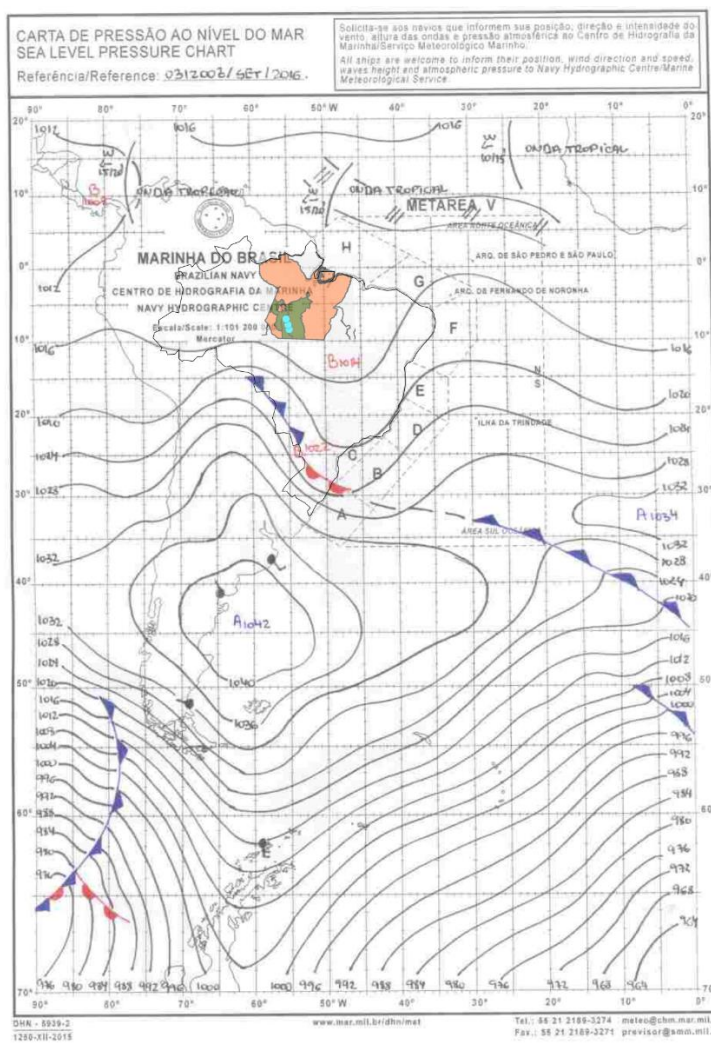


Figura 43: Carta Sinótica do dia 03 de set. de 2016 – 12Z.

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

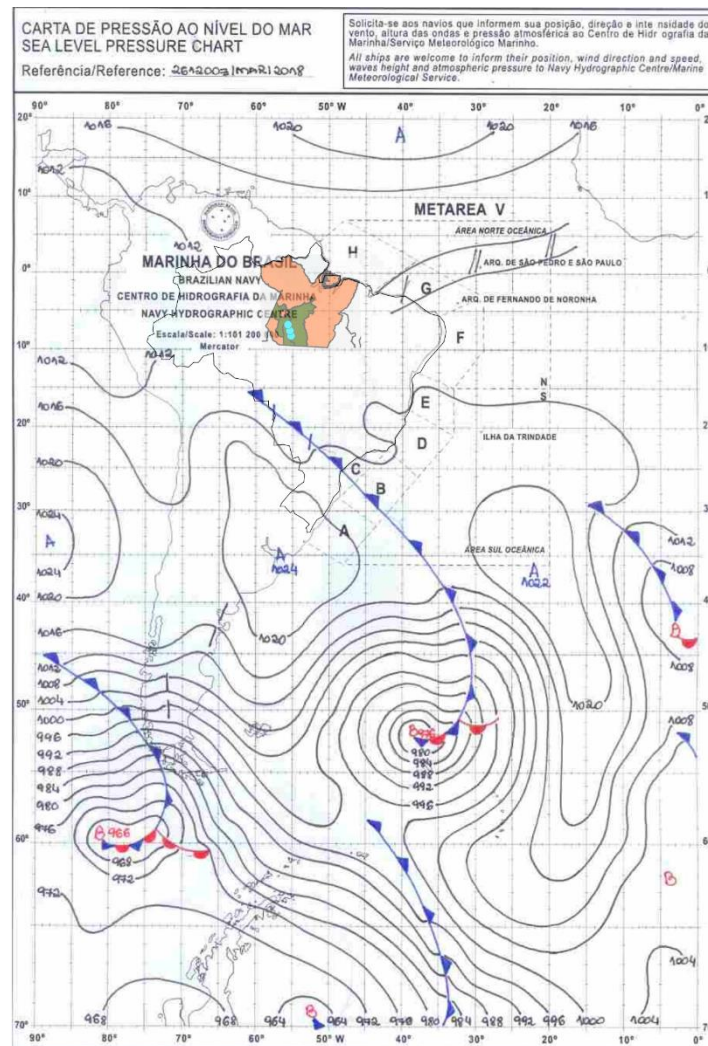


Figura 44: Carta Sinótica do dia 26 de mar. de 2018 – 12Z.

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

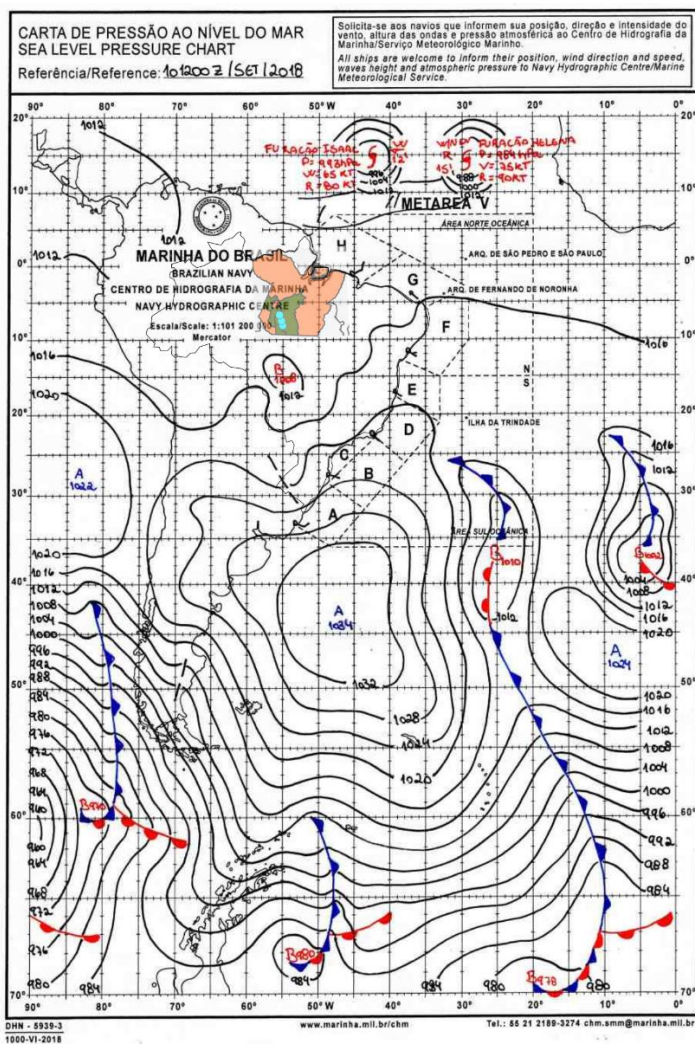


Figura 45: Carta Sinótica do dia 10 de set. de 2018 – 12Z.

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

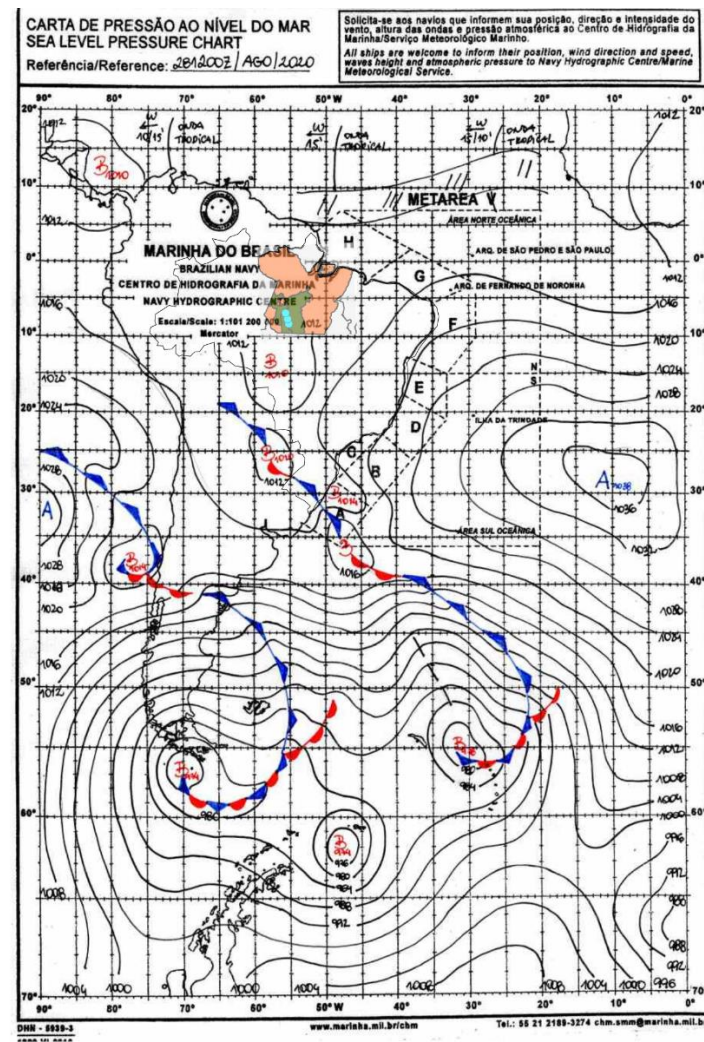


Figura 46: Carta Sinótica do dia 28 de ago. de 2020 – 12Z.

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

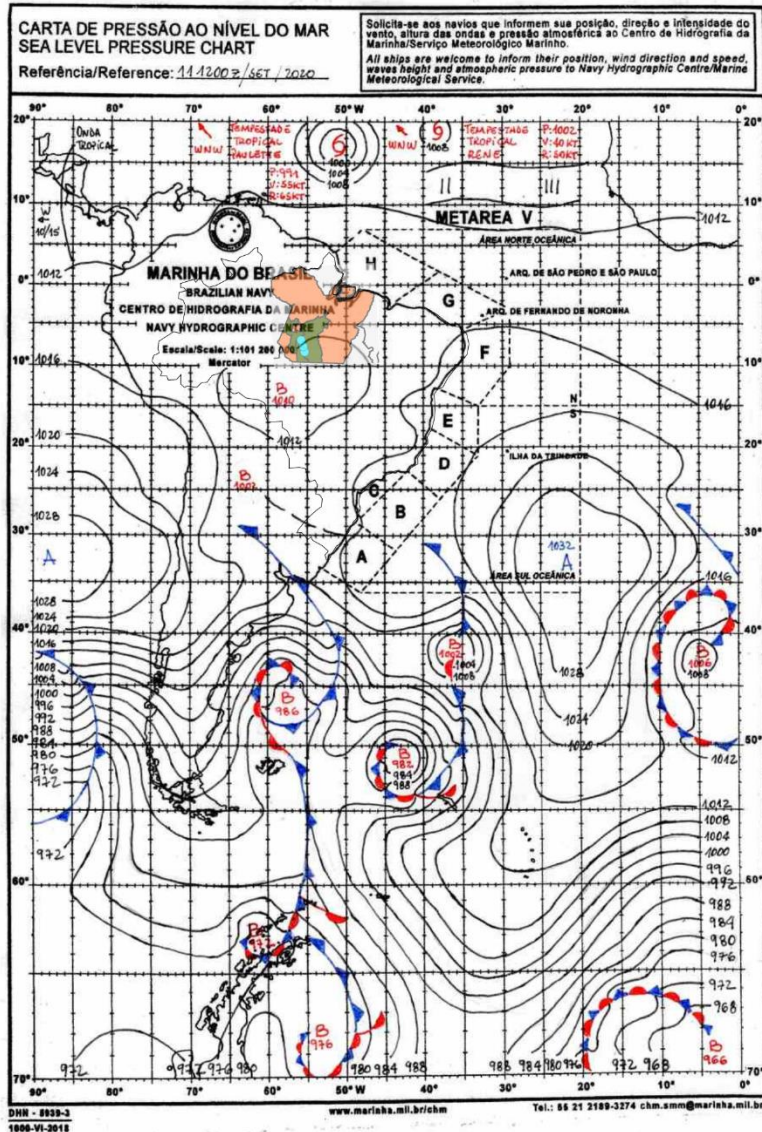


Figura 47: Carta Sinótica do dia 11 de set. de 2020 – 12Z.

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha.

4.3. Os Efeitos da ENOS

Um fator que deve ser levado em consideração na análise pluviométrica são os efeitos da ENOS na variabilidade das chuvas na área de estudo. O El Niño e a La Niña são partes desse fenômeno atmosférico-oceânico que acontece no oceano Pacífico. O primeiro ocorre quando as águas da porção equatorial do oceano ficam mais quentes em decorrência do enfraquecimento dos ventos alísios. A outra situação ocorre quando as zonas de alta pressão subtropicais são fortalecidas

e contribuem para aumentar a intensidade dos ventos alísios, o que faz com que as águas fiquem mais frias que a média histórica (MOREIRA; CONCEIÇÃO; CRUZ; PEREIRA JÚNIOR, 2018). Quando ocorrem essas variações na temperatura do oceano, todo o sistema atmosférico global sente efeitos na temperatura e na precipitação, que não são necessariamente opostos como acontece com as mudanças de temperaturas quentes ou frias do oceano.

O INPE faz o acompanhamento e a avaliação da ocorrência e da intensidade do fenômeno e define que os anos onde a intensidade do fenômeno foi considerada forte são aqueles em que a anomalia de temperatura chega a um aumento igual ou superior a 1,5°C em um dos meses da série avaliada. Já os de intensidade moderada têm variações inferiores à 1,5°C e superiores à 1,0°C. Os eventos considerados de intensidade fraca são aqueles com mudanças menores que 1,0°C e superiores à 0,5°C. Para os anos do fenômeno de La Niña, a classificação da intensidade é a mesma, porém com variação para temperaturas negativas (INPE, 2022). A Tabela 4 identifica a intensidade dos fenômenos que ocorreram no período de estudo.

Tabela 4: Anos de ocorrência de El Niño e La Niña. Fonte: INPE (2022).

El Niño		La Niña
2002-2003		1999-2000
2006-2007		2007-2008
2009-2010		2010-2011
2015-2016		2017-2018
Legenda:	Forte	Forte
	Moderada	Moderada
	Fraca	Fraca

As tendências do El Niño para a Amazônia são de aumento da estiagem, queda nos totais pluviométricos, além de diminuição da vazão dos rios e do nível de reservatórios. Esse fenômeno também dificulta a formação de sistemas atmosféricos como a Alta da Bolívia e, conseqüentemente, da ZCAS, que depende do primeiro para ser constituída (MOREIRA; CONCEIÇÃO; CRUZ; PEREIRA JÚNIOR, 2018).

Já em anos de La Niña, os efeitos na Amazônia são de aumento na precipitação em relação à média normal, com rios que podem atingir picos de vazão, além de aumentar o nível dos reservatórios. Assim como num ano de neutralidade (sem atuação do ENOS), os anos de La Niña também favorecem a formação da ZCAS (MOREIRA; CONCEIÇÃO; CRUZ; PEREIRA JÚNIOR, 2018). Ao mesmo tempo, Grimm, Zaratini e Marengo (2004) apontam que as zonas onde ocorre um impacto mais consistente da La Niña não coincidem com as zonas de impacto mais perceptível do El Niño.

Quando comparamos as datas de ocorrência dos eventos muito intensos no inverno, a maioria ocorreu em anos de La Niña, situação em que as condições para ocorrência da ZCAS são mais favoráveis. No total foram seis eventos, contra apenas um em ano de El Niño de forte intensidade. Também ocorreram dois eventos em anos neutros, ou seja, sem ocorrência de nenhum fenômeno de Oscilação Sul, e um evento em 2010, ano que aparece com ocorrência das duas situações de ENOS, e foi classificado como um ano de transição (Tabela 5). Os dados com destaque em amarelo foram registrados no pluviômetro km 947, que possui dados duvidosos.

Tabela 5: Datas de eventos muito intensos no inverno relacionados ao ENOS. Fonte: INPE; ANA.

Data	ENOS
15/09/2000	La Niña
20/09/2000	La Niña
11/9/2010	Transição
14/09/2011	La Niña
2/9/2016	El Niño
27/08/2018	La Niña
10/9/2018	La Niña
13/09/2018	La Niña
28/08/2020	Neutro
11/9/2020	Neutro

5. RELAÇÕES ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Avanço do Desmatamento e Totais Pluviométricos

A formação das chuvas na Amazônia é influenciada por inúmeros fatores como a geomorfologia de suas terras extensas localizadas junto à linha do Equador e os ventos alísios vindos do Leste que sopram a umidade da massa de ar Equatorial Atlântica para dentro da Bacia Amazônica e que, por sua vez, tem sua circulação barrada pela Cordilheira dos Andes. Porém a cobertura vegetal associada às fases do ciclo hidrológico possui grande importância através da transpiração e da reciclagem do vapor de água, uma vez que é responsável pela origem de, aproximadamente, 50% das chuvas amazônicas (TARIFA, 2011; DEBORTOLI, 2013).

Diante da importância da vegetação, o desmatamento influencia diretamente em algumas propriedades da superfície, como a rugosidade. A alteração desse fator pela remoção da cobertura vegetal domina algumas mudanças locais na temperatura como a média anual, a amplitude térmica diurna e a resposta sazonal ao desmatamento, além de desempenhar uma contribuição significativa na diminuição da evapotranspiração (WINCKLER; REICK; BRIGHT; PONGRATZ, 2019).

A supressão da vegetação por meio das queimadas ou do corte raso tem impacto direto no aumento da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), como o dióxido de carbono, um gás que possui ação na temperatura global, uma vez que tem capacidade de absorver e emitir radiação e que é retirado do ar pela biosfera terrestre e pelos oceanos (AYOADE, 1996). Essa alteração na composição atmosférica influencia as características do ciclo hidrológico pois gera perda de umidade no ambiente. Além disso, caso a escala do desmatamento continue aumentando substancialmente, a evapotranspiração na Amazônia pode diminuir ao nível de seus efeitos alcançarem uma escala de clima regional, afetando as médias pluviométricas na porção centro-sul do país (DEBORTOLI, 2013).

Outro efeito importante ocasionado pela remoção da área de floresta está relacionado à alteração do albedo da superfície do solo. De acordo com Debortoli (2013) e Tarifa (2011), com a diminuição da cobertura vegetal o albedo aumenta de 14% para 35%, mudança que pode induzir a diminuição dos índices pluviométricos. O solo nu recebe maior incidência de radiação de ondas curtas, que altera a emissividade de ondas longas e essa modificação no balanço radiativo aquece a atmosfera por meio do aprisionamento da radiação em níveis mais baixos. Dessa forma, ocorrem

mudanças biofísicas, biogeoquímicas e nos fluxos de calor latente e sensível, parâmetros relacionados ao ciclo hidrológico.

Diante disso, foi calculado o índice de correlação entre o avanço do desmatamento na área de estudo e o total pluviométrico registrado em cada pluviômetro. Por meio dessa análise é possível avaliar o grau de relação entre cada uma das variáveis, e quanto uma variável interfere no resultado obtido por outra. Para isso, foram elaborados gráficos de dispersão, além do cálculo do coeficiente de correlação dado pela fórmula:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}}$$

Onde temos que: \sum é a somatória dos valores, x_i e y_i são os valores das variáveis, \bar{x} e \bar{y} são respectivamente as médias dos valores x_i e y_i . A fórmula de correlação gera um resultado entre 1 e -1. Quando o coeficiente é igual a 1, a interpretação é de que a correlação é perfeita positiva entre as duas variáveis analisadas, ou seja, ambas aumentam ou diminuem juntas. Quando é igual a -1, a correlação é perfeita negativa, dessa forma, quando uma variável aumenta a outra diminui. As duas variáveis não dependem linearmente quando o resultado é igual a 0 (zero). A Tabela 6 é utilizada para uma interpretação mais detalhada dos resultados.

Tabela 6: Interpretação do coeficiente de correlação.

Valor de r	Força da correlação
0,00 a 0,19	Bem fraca
0,20 a 0,39	Fraca
0,40 a 0,69	Moderada
0,70 a 0,89	Forte
0,90 a 1,00	Muito forte

A avaliação entre o avanço da área desmatada e o total pluviométrico anual resultou na única correlação positiva entre os dados dos três pluviômetros, de 0.10733 (10%) para o km 1027,

considerada fraca, mas indica que as variáveis aumentam e diminuem juntas, ainda que as variações ocorram de forma sutil. A correlação para os outros dois pluviômetros é moderada e negativa, de -0.42802 (-42%) para o km 1030 e de -0.62744 (-62%) para o km 947 (não foram considerados os dados de 2016 a 2020 para este pluviômetro). Nestes dois casos, a correlação negativa indica que há diminuição moderada dos totais pluviométricos, conforme ocorre o aumento da área desmatada. Os gráficos de dispersão nas figuras 48, 49 e 50 foram elaborados para a visualização dos dados avaliados.

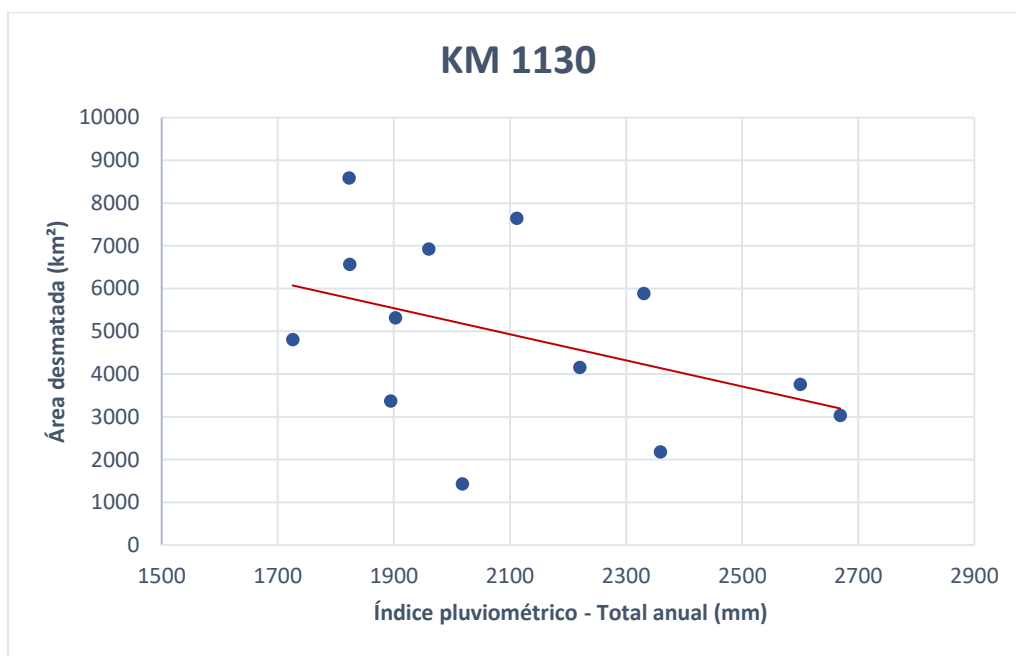


Figura 48: Correlação entre área desmatada e total pluviométrico do km 1130. Fonte: INPE; ANA.

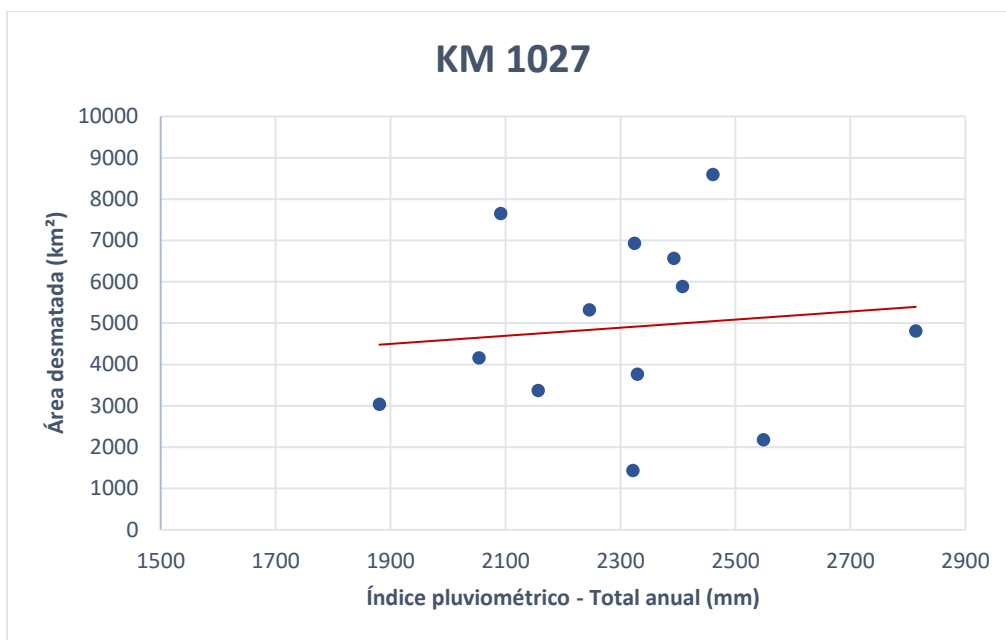


Figura 49: Correlação entre área desmatada e total pluviométrico do km 1027. Fonte: INPE; ANA.



Figura 50: Correlação entre área desmatada e total pluviométrico do km 947. Fonte: INPE; ANA.

5.2. Focos de Queimadas e Dados Pluviométricos

A floresta tropical é naturalmente menos propensa a sofrer com queimadas pelo clima úmido da região (NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999), porém, em situações de estiagem mais severas, com vários dias seguidos sem chuva, o solo perde umidade e pode criar condições para que o fogo se espalhe. O período da estação seca (junho-agosto) é o período com maiores chances de incêndios florestais, ou seja, ocorrência de focos de fogo acidentais (SILVERIO; SILVA; ALENCAR; MOUTINHO, 2019).

O desmatamento não ocorre apenas através de queimadas, porém, após concretizado, a área desmatada se torna mais propícia para incêndios e queimadas, uma vez que antes, o combustível fica distante do solo, e a biomassa nos troncos das árvores, que precisam de maior tempo de contato com o fogo para queimarem (NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999). Após a alteração no uso do solo, o fogo tem mais acesso aos combustíveis que inflamam mais facilmente e, nesse cenário, segue o traçado do desmatamento de áreas abertas de pastagem e plantio, muitas vezes saindo do controle (SILVERIO; SILVA; ALENCAR; MOUTINHO, 2019).

Nesse contexto, também foi realizada a análise de correlação para avaliar a relação do número de focos de queimadas com o total pluviométrico anual (desconsiderando os anos de 2016 a 2020 para o pluviômetro km 947), e com o número de dias sem chuva em cada ano.

Como resultado, a correlação entre os focos de queimadas e o total pluviométrico anual registrado no km 1130 foi de -0,18477 (-18%), no km 1027 foi de -0,10126 (-10%) e no km 927 foi de -0,12077 (-12%). Diante disso, as variáveis apresentam correlação negativa fraca, portanto, ainda que os focos de queimadas sejam levemente maiores em anos com menos chuva, essa diferença acentuada é mais perceptível numa análise que considera as duas variáveis numa escala de tempo mensal, como na análise realizada por Silverio, Silva, Alencar e Moutinho (2019). Para a visualização desses dados, foram elaborados os gráficos de dispersão nas figuras 51, 52 e 53.

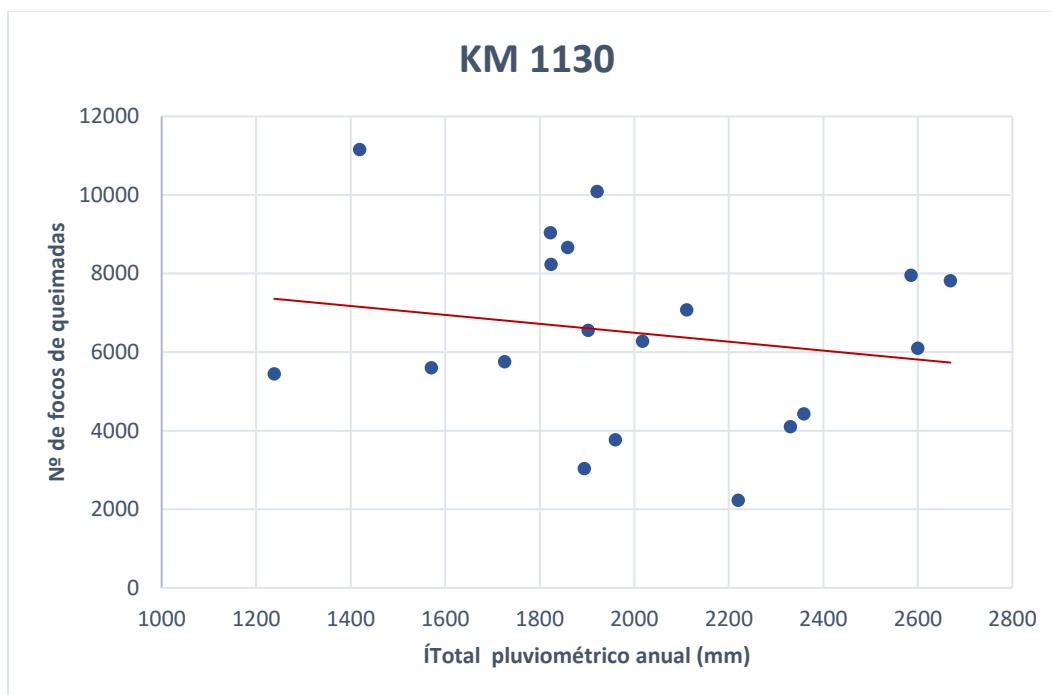


Figura 51: Correlação entre focos de queimada e total pluviométrico do km 1130. Fonte: INPE; ANA.

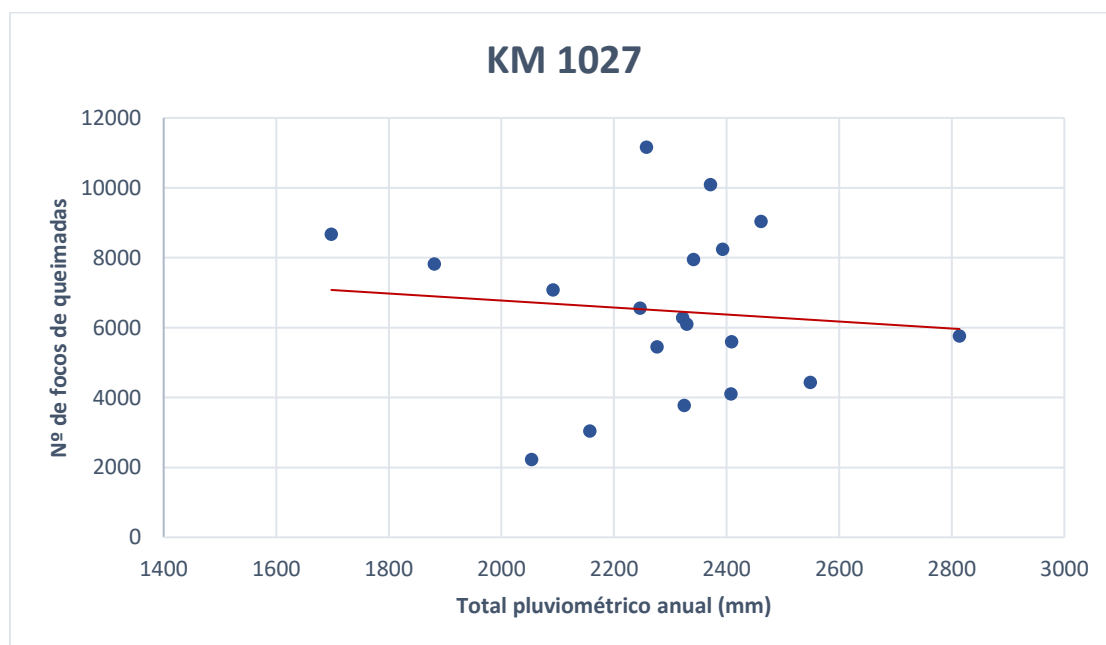


Figura 52: Correlação entre focos de queimadas e total pluviométrico do km 1027. Fonte: INPE; ANA.

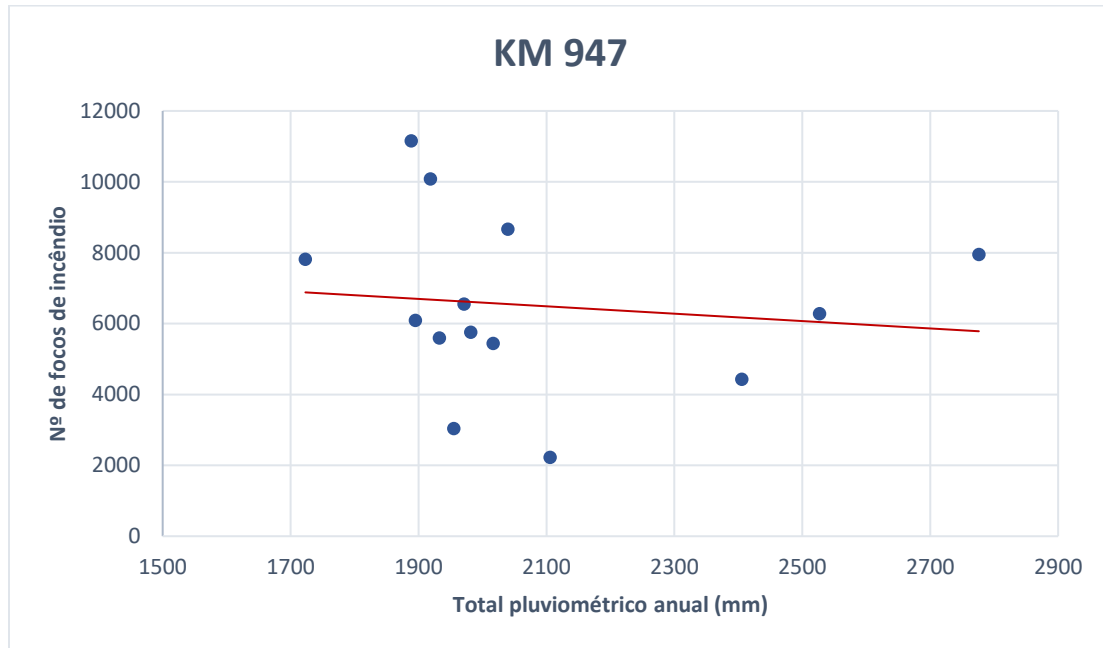


Figura 53: Correlação entre focos de queimada e total pluviométrico do km 947. Fonte: INPE; ANA.

Para a correlação realizada entre os focos de queimadas e o número de dias sem chuva no ano, o resultado obtido a partir dos dados registrados no km 1130 foi de 0,283478 (28%), no km 1027 foi de 0,081731 (8%) e no km 927 foi de 0,195321 (19%). O primeiro apresenta uma correlação considerada fraca e os outros dois são interpretados como bem fraca, porém é possível que os dados do pluviômetro 1027 tenha alguma contaminação, pois possui a tabela de dados de chuva com mais falhas nos anos de 2002 e 2003, logo, mais dados precisaram ser corrigidos com a média de chuva do mesmo dia em outros anos, resultando em 116 dias sem chuva em 2002 e apenas 40 em 2003 (Anexo B).

Os gráficos de dispersão produzidos para visualização dos dados estão representados nas figuras 54, 55 e 56. Diferente da análise feita com os índices pluviométricos, essa apresenta correlação positiva em todos os casos, ou seja, os focos de queimadas aumentam com o aumento do número de dias sem chuva em um ano. Ainda que as variáveis analisadas apresentem certa correlação entre si, o índice é considerado bem fraco e fraco, o que indica que existem outros

fatores que influenciam a quantidade de focos de queimada anualmente, como variáveis qualitativas relacionadas à legislação e fiscalização, já que é um fenômeno fortemente antrópico. É possível que, assim como a análise da variável anterior, essa diferença acentuada seja mais perceptível numa avaliação que considere a escala de tempo mensal.

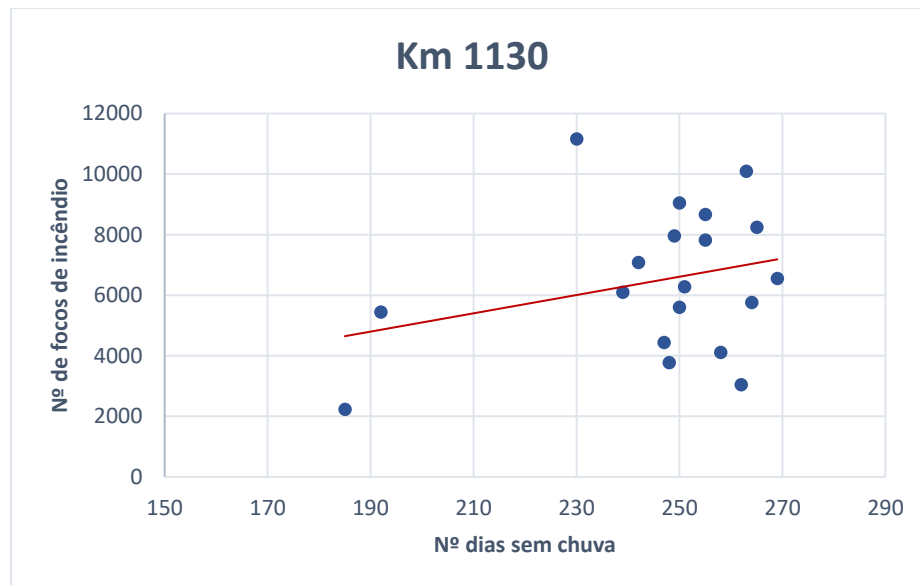


Figura 54: Correlação entre focos de queimadas e nº de dias sem chuva no km 1130. Fonte: INPE; ANA.

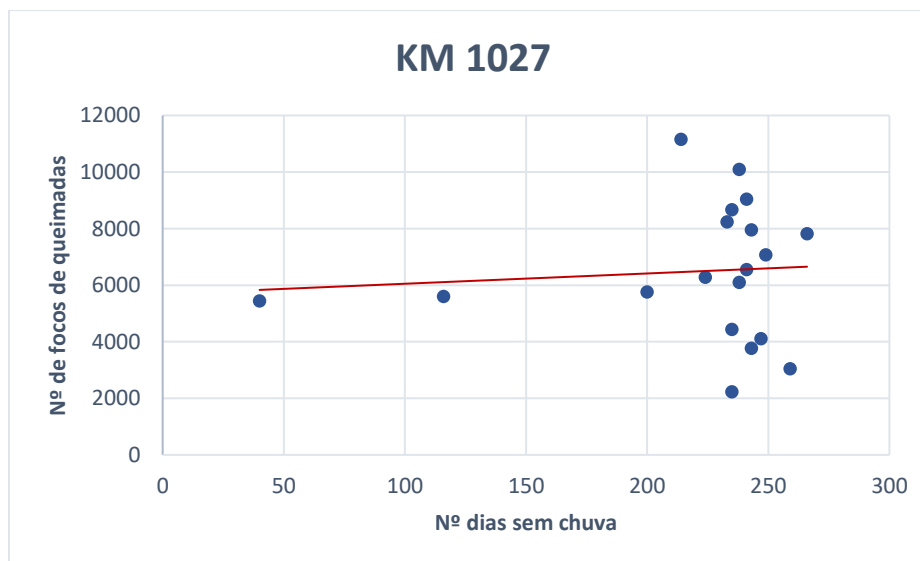


Figura 55: Correlação entre focos de queimadas e nº de dias sem chuva no km 1027. Fonte: INPE; ANA.

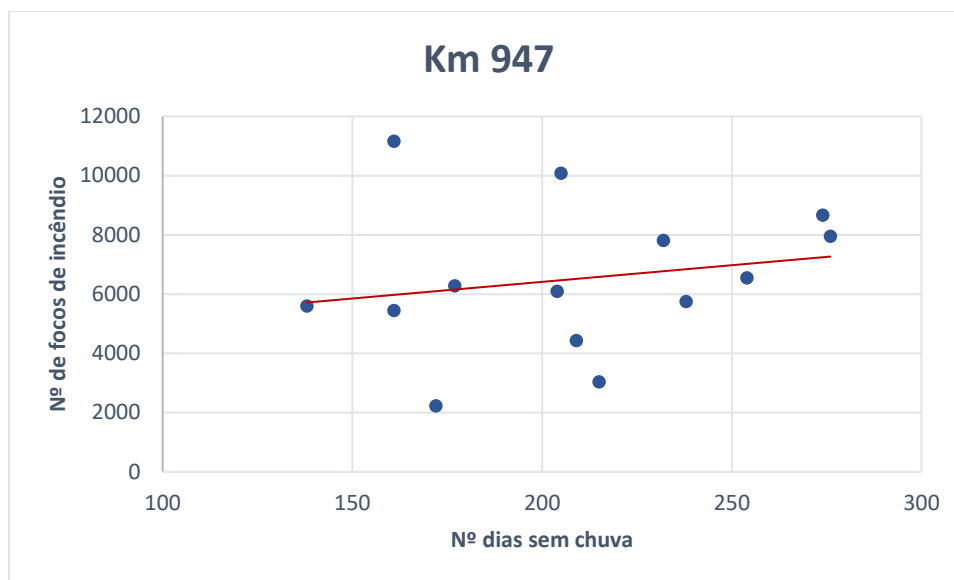


Figura 56: Correlação entre focos de queimadas e nº de dias sem chuva no km 947. Fonte: INPE; ANA.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Amazônia é um bioma superlativo em todas suas características. Além de ser a maior floresta tropical, presente em nove países, e possuir o maior rio do mundo, ela carrega uma enorme diversidade de fauna e flora, e exibe elevados índices pluviométricos anuais, já que é uma grande fonte de vapor d'água. Ao mesmo tempo, sua carga de umidade é transportada pelo território brasileiro através da ZCAS, que irriga o Centro-Oeste, o Sudeste e o Sul brasileiro, nesse sentido, a floresta reafirma sua importância como reguladora do clima ao realizar serviços ecossistêmicos.

Outro aspecto importante do bioma é o armazenamento de carbono por sua flora. Com o desmatamento, a capacidade de retenção do gás pela floresta diminui, e a Amazônia já emite mais CO₂ do que absorve (PIVETTA, 2020). A alteração desse processo faz com que se agrave a situação das mudanças climáticas, uma vez que ocorre o aumento das emissões de GEEs.

Os objetivos propostos por esta pesquisa para o contexto dos municípios de Altamira/PA, Novo Progresso/PA e Itaituba/PA eram de analisar o avanço do desmatamento, o número de focos de queimadas e o regime pluviométrico no local, relacionando os resultados dessas variáveis entre si, considerando também os efeitos do El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre os eventos intensos de chuva. Essa análise permitiu avaliar a situação climática para o contexto local por meio de

metodologias que podem ser replicadas para outras localidades e, dessa forma, avaliar quais efeitos do avanço do desmatamento podem ocorrer em uma escala regional.

A análise do avanço do desmatamento na Amazônia também se relaciona com temáticas sociais, econômicas e culturais, como os conflitos por terras, a regulamentação da exploração de recursos e a produção de alimentos. Na área de estudo se destaca a presença de povos indígenas nos municípios de Itaituba e Altamira, não só numericamente, mas também quando se considera a análise do desmatamento na região, que encontra as TIs demarcadas e faz o contorno dos seus limites, enquanto as terras protegidas permanecem com a floresta em pé, salvo raras exceções. Isso demonstra como a luta indígena se faz presente para manter o bioma vivo, junto de suas culturas e tradições. No entanto, ao mesmo tempo em que os povos indígenas são um dos protagonistas na discussão da pauta socioambiental e das mudanças climáticas, são, ao mesmo tempo, povos vulneráveis não só aos efeitos da crise climática, mas também à violência promovida por grileiros, fazendeiros e garimpeiros ilegais, responsáveis pelo avanço do desmatamento.

A Amazônia também sofre com o avanço das queimadas, que podem sair do controle em épocas de seca, e aumentam ainda mais a emissão de GEEs. Em anos com índices pluviométricos mais baixos o número de focos de queimadas se elevou sutilmente. Essa correlação fraca pode indicar que uma análise mensal esclareça melhor as relações entre as variáveis. No entanto, também é necessário considerar o peso da flexibilização das legislações ambientais no país a partir de 2017, o que influencia no aumento dos focos e do desmatamento nos últimos anos do período analisado.

Por fim, essa pesquisa mostrou potencialidades que podem ser desenvolvidas no futuro e outras que podem ser aprimoradas. Uma dificuldade para a definição da área de estudo foi a escassez de pluviômetros em áreas com desmatamento recente, o que limitou as localidades disponíveis para realizar uma análise comparativa de dados de chuva com o avanço dos focos de incêndio. Porém, é possível buscar soluções para a avaliação da precipitação através do sensoriamento remoto da atmosfera, o que permite ampliar a área de abrangência do estudo.

É possível também desenvolver a análise do avanço dos focos de incêndio e do desmatamento com dados quantitativos mensais, além de realizar um levantamento de dados qualitativos das legislações vigentes em cada ano, para avaliar precisamente como as políticas públicas podem influenciar em eventos reais.

Avaliar o desmatamento, os focos de incêndio e os dados pluviométricos são fundamentais para conhecer a realidade do país, compreender suas causas, possíveis consequências e, mais importante, encontrar soluções possíveis para esses problemas, principalmente ao considerar que o PRODES e o DETER são atualizados constantemente, com informações fidedignas e com uma série histórica extensa.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A; STAPE, J. L; SENTELHAS, P. C; GONÇALVES, J. L. M; SPAROYEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, n. 6, 2013, p. 711 – 728.
- ALVES, F. S. M; FISCH, G; VENDRAME, I. F. Modificações do microclima e regime hidrológico devido ao desmatamento na Amazônia: estudo de um caso em Rondônia (RO), Brasil. **Acta Amazônica** [online], v. 29, n. 3, 1999, p. 395-409. DOI <https://doi.org/10.1590/1809-43921999293409>
- ARAUJO, R. C; PONTE, M. X. Agronegócios na Amazônia: ameaças e oportunidades para o desenvolvimento sustentável da região. **Revista de Ciências Agroambientais**, [S. l.], v. 13, n. 2, 2016. DOI: 10.5327/rcaa.v13i2.1190. Disponível em: <https://periodicos2.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/1190>. Acesso em: 06 jan. 2023.
- ARTAXO, P. **Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno?** Revista USP, (103), 13-24, 2014. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p13-24>
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p. ISBN: 8528604276.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Organizado por Marcos Antônio Oliveira Fernandes. São Paulo: Rideel, 2017.
- BRASIL. Lei n. 5.173, de 27 de outubro de 1966. Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia; extingue a Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), cria a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), e dá outras

providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 27 out. 1966. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/15173.htm> Acesso em: 26 nov. 2022.

BRASIL. Decreto-Lei n. 1.106, de 16 de julho de 1970. Cria o Programa de Integração Nacional, altera a legislação do imposto de renda das pessoas jurídicas na parte referente a incentivos fiscais e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, p. 4521, 16 jun. 1970. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/del1106.htm>. Acesso em: 25 nov. 2022.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 25 mai. 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 04 jan. 2023.

CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>>. Acesso em: 04 de jan. de 2023

CONSELHO INDIGENISTA MISSIONÁRIO (CIMI). Como é feita a demarcação de Terras Indígenas. Disponível em: <<https://cimi.org.br/terras-indigenas/demarcacao/>>. Acesso em: 04 de jan. de 2023.

COUTINHO, L. M. **Biomass brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 128 p. ISBN: 9788579752544.

DEBORTOLI, N. S. **O regime de chuvas na Amazônia Meridional e sua relação com o desmatamento**. 2013. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

DUBREUIL, V; FANTE, K. P; PLANCHON, O; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil : uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins** [Online], v. 37, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.15738>

FEARNSIDE, P. M. Brazil's Cuiabá-Santarém (BR-163) Highway: the environmental cost of paving a soybean corridor through the Amazon. **Environmental Management**: v. 39, p. 601-614, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-006-0149-2>

FIGUEIREDO FILHO, D. B; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, vol. 18, n. 1, 2009, p. 115-146.

GALVANI, E; LUCHIARI, A. Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido. In: **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina**, São Paulo, SP, Brasil, 20 a 26 de março de 2005, Universidade de São Paulo. p 5701 – 5710.

GALVÃO, L. S. et al. Efeitos do Posicionamento das Bandas do Vermelho e do Infravermelho Próximo nas Determinações de NDVI para os Cerrados. **Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos, Brasil, 11-18 de set. 1998, INPE, p. 1377 a 1384.

GRANDELLE, R. Desmatamento sobe 359% em um ano ao redor da BR-163. **Extra**, Brasil, 02 Jun. 2021. <https://extra.globo.com/noticias/um-so-planeta/desmatamento-sobe-359-em-um-ano-ao-redor-da-br-163-rv1-1-25086605.html>

GRIMM, A; ZARATINI, P; MARENGO, J. A. Sinais de La Niña na precipitação da Amazônia. 2004. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/37679447>>. Acesso em: 04 de jan. de 2023.

GUSTAVO, L. Cinco indígenas são eleitos para a Câmara dos Deputados. **Agência Câmara de Notícias**, Brasília, 03 Out. 2022. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/911616-cinco-indigenas-sao-eleitos-para-a-camara-dos-deputados/>>. Acesso em: 04 de jan. de 2023.

HRYCYK, P; PINHO, R. L; KORZEKWA, J. A influência do desmatamento no clima da região de Alta Floresta - MT. **Revista Eletrônica da Faculdade de Direito de Alta Floresta - MT**, v. 6, n. 2, 2017, p. 15-31.

IEMBO, J. L. V.; GALVANI, E. Vulnerabilidade a incêndios florestais: reflexões acerca do Parque Estadual do Juquery e seu entorno. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 28, p. 74–100, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14340>. Acesso em: 06 jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/itaituba/historico>>. Acesso em: 26 nov. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/novo-progresso/historico>>. Acesso em: 26 nov. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Condições atuais do ENOS: La Niña**, 2022. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 04 de jan. de 2022.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA). **Terras Indígenas no Brasil**, 2022. A maior base de dados sobre Terras Indígenas no Brasil. Disponível em: <<https://terrasindigenas.org.br>>. Acesso em: 28 de dez. de 2022.

LOVATO, L. G; REVILLION, J. P. P. Mecanismos de certificação para o desenvolvimento de uma agricultura com potencial de mitigação das mudanças climáticas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 36, n. 3, 12 p. set./dez. 2019. DOI: 10.35977/0104-1096.cct2019.v36.26456

MARGULIS, S. **Mudanças do clima**: tudo que você queria e não queria saber. Rio de Janeiro: Konrad Adenauer Stiftung, 2020.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **ClimAtoloGia**: noções básicas e climas do Brasil. 2007. Reimpressão, São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

MENEZES, F. P; FERNANDES, L. L; ROCHA, E. J. P. O uso da estatística para regionalização da precipitação no estado do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, jan. - jul. 2015, p. 64 – 71.

MILANEZ, F. A hora das mulheres indígenas liderarem a política indigenista. **CartaCapital**, Brasil, 04 Jan. 2023. Disponível em: <<https://www.cartacapital.com.br/opinioao/a-hora-das-mulheres-indigenas-liderarem-a-politica-indigenista/>>. Acesso em: 04 de jan. de 2023.

MONNERAT, A.; SARTORI, C. Asfaltamento da BR-163 pelo Exército não começou no governo Bolsonaro. **Estadão**, São Paulo, 11 fev. 2019. Disponível em: <<https://politica.estadao.com.br/blogs/estadao-verifica/obras-do-exercito-na-br-163-nao-comecaram-no-governo-bolsonaro/>> Acesso em: 25 nov. 2022.

MONTEIRO, J. L. G. Desmatamento na área de influência da BR-163. In: BERNARDES, J. A.; FREIRE FILHO, O. L. (org.). **Geografias da soja - BR-163: Fronteiras em Mutação**. Rio de Janeiro: Arquimedes Edições, 2006. Cap. 6, p. 115-136.

MOREIRA, S. F; CONCEIÇÃO, C, S; CRUZ, M, C, S; PEREIRA JÚNIOR, A. **A Influência dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* sobre a dinâmica climática da região Amazônica**. *Multidisciplinary Reviews* 1: e2018014. 2018. DOI: 10.29327/multi.2018014

NEPSTAD, D. C., MOREIRA, A., ALENCAR, A. A. 1999. **A Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia**. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Brasília, Brasil. 202 p.

NOBRE, C. A; REID, J; VEIGA, A. P. S. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p.

OLIVEIRA, R. A. J.; ANGELIS, C. F. Características e tendências da precipitação estimada por satélite sobre uma região de intenso desmatamento na Amazônia Legal: Uma comparação entre áreas de Floresta e Desmatadas. In: **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE, p. 2263-2270.

PIVETTA, M. Amazônia, agora, é fonte de CO₂. **Revista Fapesp**, ed. 287, jan. 2020. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/amazonia-agora-e-fonte-de-co2/>>. Acesso em: 04 de jan. de 2023.

PORTELA, M. G.; LEITE, L. F. C. **Emissões de GEE pela agricultura: o caso dos cultivos de cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, ano 12, v. 18, p. 377-388, jan./jun. 2016.

QUEIROZ, J. D. S. **Aspectos geológicos e metalogenéticos do depósito de outro hospedado em metaconglomerados e metarenitos paleoproterozoicos Castelo de Sonhos, província Tapajós, sudoeste do Pará**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

RAMOS, A. B. R.; NASCIMENTO, E. R. P.; OLIVEIRA, M. J. Temporada de incêndios florestais no Brasil em 2010: análise de série histórica de 2005 a 2010 e as influências das chuvas e do desmatamento na quantidade dos focos de calor. In: **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE, p.7902-7909.

RIBEIRO, T. M. **Dinâmica de focos de incêndio na Amazônia Ocidental**. 2017. Monografia – Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

SAAD, S. I.; ROCHA, H. R.; DIAS, M. A. F. S.; ROSOLEM, R. **Can the deforestation breeze change the rainfall in Amazonia?** A case study for the BR-163 highway region. São Paulo: Earth Interactions, v. 14, n. 18, 2010, p. 1-25.

SANTOS, S. R. Q, *et al.* Variabilidade da precipitação no estado do Pará por meio de análise em componentes principais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, n. 03, 2014, p. 615-627.

SCAIFE, A. A. (ed.). **Meteorologia: 50 conceitos e fenômenos fundamentais explicados de forma clara e rápida**. São Paulo: Publifolha, 2017.

SILVA, M. F; MOREIRA, M. M. O direito constitucional sob o olhar dos caciques da Terra Indígena Mãe Maria (Pará), povo indígena Gavião. **Revista Direito FGV**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 1-26, 2020.

SILVERIO, D; SILVA, S; ALENCAR, A; MOUTINHO, P. Amazônia em Chamas: Nova técnica do Instituto Ambiental da Amazônia – IPAM. **IPAM Amazônia**, Brasília, DF, 2019.

SOARES, F. M. **O governo Médici e o Programa de Integração Nacional (Norte e Nordeste): discursos e políticas governamentais (1969-1974)**. 2015. Dissertação (Mestrado em História) - Programa de pós-graduação em História, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

SOUZA, J. J. *et al.* **Análise espacial dos dados de mineração na região sudoeste do estado do Pará**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Belém, PA, 2018.

STEFFEN, W. *et al.* Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, p. 736-747, Fev. 2015. Disponível em: <<https://science.sciencemag.org/content/sci/347/6223/1259855.full.pdf>>

TARIFA, J. R. Alterações climáticas resultantes da ocupação agrícola no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 8, p. 15-27, 2011. DOI: 10.7154/RDG.1994.0008.0002. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47323>>. Acesso em: 30 mai. 2022.

VAZ FILHO, F. A. Os conflitos ligados à sobreposição entre terras indígenas e a RESEX Tapajós-Arapiuns no Pará. **Ruris**, v. 7, n. 2, p. 143-183, Set. 2013.

WINCKLER, J.; REICK, C. H.; BRIGHT, R. M.; PONGRATZ, J. Importance of surface roughness for the local biogeophysical effects of deforestation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 124, 2019, p. 8605–8618. DOI <https://doi.org/10.1029/2018JD030127>

GLOSSÁRIO

Alta da Bolívia: Zona de alta pressão em altos níveis com circulação no sentido anti-horário.

Amazônia Legal: Região administrativa criada pela Lei Federal nº 5.173 de 27 de outubro de 1966 (BRASIL, 1966).

Cavado: Sistema de baixa pressão em altitude numa região da atmosfera em que ocorre uma ondulação do fluxo dos ventos no sentido horário no Hemisfério Sul.

Condições edáficas: Características físicas e químicas do solo.

Isóbaras: Linhas que marcam áreas com a mesma pressão atmosférica.

Fitofisionomia: Aspectos da flora de um determinado local ou região.

Frente estacionária: Zona de descontinuidade que acontece quando uma frente fria ou quente deixa de se mover.

Frente fria: Representa o avanço do ar frio polar sobre a região do ar quente tropical.

Frente oclusa: Ocorre quando uma frente fria se move mais depressa e ultrapassa parte da frente quente, elevando o ar quente, resultando no ar mais fresco na superfície.

Frente quente: Representa o avanço do ar quente sobre a região do ar frio.

Furacão: Evolução da tempestade tropical, vórtice de ar que gira ao redor de um núcleo de baixa pressão com a velocidade dos ventos de superfície acima dos 119 km/h.

Garimpo: Atividade econômica de mineração artesanal para extração de recursos como ouro, diamantes e outros minérios.

Grilagem: Ato de tomar posse de terras públicas ou de outros proprietários de maneira ilegal com a utilização de documentos falsos.

Linha seca: Divide uma massa de ar seco de uma massa de ar úmido.

Madeireiro: Pessoa que faz o corte de árvores e extração da madeira.

Milímetro de chuva: 1 mm de chuva corresponde ao volume de água que forma uma lâmina de 1 mm de altura em um quadrado com 1 metro de lado, o que equivale a 1 L/m².

Normal Climatológica: Valores médios calculados para um período que compreende ao menos três décadas consecutivas; representação dos elementos do clima de um local.

Posseiro: Aquele que se ocupa de terras particulares ou devolutas, ou seja, terras públicas sem destinação pelo Poder Público, ainda que a posse seja irregular.

Vórtice Ciclônico de Altos Níveis do Nordeste: Funciona como uma massa de ar seco, uma vez que os ventos de altos níveis da atmosfera giram no sentido horário, empurrando o ar seco dos níveis altos para a superfície.

**ANEXO A – Tabela de dados de desmatamento total e por município da área de estudo,
período de 2008 - 2020**

Ano	km² Altamira	km² Novo Progresso	km² Itaituba	km² Total	Acumulado
2008	339.62	235.91	169.96	745.49	1434.39
2009	388.93	316.78	148.67	854.38	2179.88
2010	193.85	50.78	91.13	335.76	3034.26
2011	249.9	53.14	89.41	392.44	3370.02
2012	228.96	74	94.68	397.64	3762.46
2013	296.54	164.23	188.23	649	4160.1
2014	294.23	115.43	99.53	509.19	4809.1
2015	308.2	169.63	90.19	568.2	5318.29
2016	408.65	140.58	129.63	678.87	5886.49
2017	224.22	60.58	79.97	364.77	6565.36
2018	429.95	192.2	96	718.15	6930.13
2019	575.08	201.12	168.9	945.1	7648.28
2020	797.69	364.1	272.61	1434.39	8593.38
Total	4735.82	2138.48	1718.91	8593.38	

ANEXO B – Tabela de dados de focos de incêndio e quantidade de dias sem chuvas por ano, período de 2002 - 2020

						Quantidade de dias sem chuva		
Ano	Ranking Pará	Focos Altamira	Focos NProgresso	Focos Itaituba	Focos Total	P-Km 1130	P-Km 1027	P-Km 947
2002	6, 5 e 10	2179	2189	1230	5598	250	116	138
2003	4, 5 e 8	2003	1994	1447	5444	192	40	161
2004	3, 2 e 6	4169	4928	2060	11157	230	214	161
2005	2, 3 e 8	4543	3578	1965	10086	263	238	205
2006	3, 2 e 5	2883	3180	1889	7952	249	243	276
2007	4, 2 e 9	3395	3760	1511	8666	255	235	274
2008	2, 3 e 7	2675	2257	1346	6278	251	224	177
2009	1, 10 e 4	1937	1635	860	4432	247	235	209
2010	3, 6 e 8	3781	2531	1505	7817	255	266	232
2011	2, 6 e 3	1448	656	934	3038	262	259	215
2012	2, 3 e 4	2884	1730	1479	6093	239	238	204
2013	2, 9 e 4	947	581	702	2230	185	235	172
2014	1, 3 e 4	2616	1865	1272	5753	264	200	238
2015	2, 3 e 4	3036	1896	1621	6553	269	241	254
2016	1, 3 e 7	1951	1355	798	4104	258	247	255
2017	2, 3 e 5	4502	2205	1527	8234	265	233	280
2018	1, 3 e 6	1803	1321	647	3771	248	243	256
2019	1, 3 e 4	3803	2002	1268	7073	242	249	264
2020	2, 3 e 4	4865	2376	1799	9040	250	241	289

ANEXO C – Tabela de índices pluviométricos anuais, período de 2000 – 2020

Ano	P_km_1130	P_km_1027	P_km_947
2000	2192.8	2090.1	2433.2
2001	1656.5	2356.5	2967.9
2002	1571.1	2408.76	1932.56
2003	1238.3	2276.51	2016.45
2004	1419.4	2257.86	1888.7
2005	1921.8	2371.6	1918.7
2006	2585.7	2341.6	2776
2007	1859.5	1697.9	2039.6
2008	2017.7	2321.8	2527.2
2009	2359	2548.8	2405.55
2010	2668.8	1880.7	1723.1
2011	1894.3	2157.2	1954.9
2012	2600.2	2329.4	1895.1
2013	2220.1	2053.7	2105.62
2014	1725.7	2813.8	1981.7
2015	1902.6	2246.3	1970.9
2016	2330.6	2407.9	3237.7
2017	1823.7	2392.9	3491.4
2018	1960.2	2324.8	4197.1
2019	2111.4	2091.7	4050.5
2020	1822.8	2461.1	2872.3