



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DAS AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

JOSÉ MARIA DA SILVEIRA GOMES

**Construindo um Futuro Verde para a Amazônia: Uma
abordagem Sistêmica ao Desenvolvimento**

**BELÉM
2024**

JOSÉ MARIA DA SILVEIRA GOMES

**Construindo um Futuro Verde para a Amazônia: Uma
abordagem Sistêmica ao Desenvolvimento**

Tese de Doutorado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia, como requisito para obtenção do Grau de Doutor em Agronomia na Área de Concentração de Agronomia, linha de pesquisa Produção Vegetal em Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias

Coorientador: Prof. Dr. Otávio André Chase

Coorientador: Prof. Dr. Alex de Jesus Zissou

BELÉM
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

GOMES, JOSÉ MARIA DA SILVEIRA

CONSTRUINDO UM FUTURO VERDE PARA A AMAZÔNIA: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA
AO DESENVOLVIMENTO / JOSÉ MARIA DA SILVEIRA GOMES. - 2024.

104 f. : il. color.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Campus Universitário de
Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2024.

Orientador: Prof. Dr. PAULO ROBERTO DA SILVA FARIAS

Coorientador: Prof. Dr. OTÁVIO ANDRÉ CHASE.

1. Amazônia Legal. 2. Desmatamento. 3. Visão Sistêmica. 4. Desenvolvimento Sustentável. 5.
Análise de Séries Temporais. I. FARIAS, PAULO ROBERTO DA SILVA, *orient.* II. Título

CDD 550.727



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
INSTITUTO DE AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO JULGADORA DE EXAME DE TESE

Aos dois dias do mês de agosto de dois mil e vinte e quatro às oito horas e trinta minutos, todos os participantes por videoconferência na sala do *google meet*, reuniu-se a Comissão Julgadora do Exame de Tese do discente **JOSÉ MARIA DA SILVEIRA GOMES**, assim constituída:

Presidente/Coorientador: Prof. Dr. Otávio André Chase - UFRA/Belém

1º Examinador: Prof. Dr. Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo - UFSC

2º Examinador: Prof. Dr. Paulo Cerqueira dos Santos Júnior - UFPA

3º Examinador: Prof. Dr. Pedro Silvestre da Silva Campos - UFRA/Belém

4º Examinador: Prof. Dr. Emerson Cordeiro Morais - UFRA/Belém

Iniciados os trabalhos, o candidato submeteu-se ao exame de defesa de tese intitulado:

"CONSTRUINDO UM FUTURO VERDE PARA A AMAZÔNIA: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA AO DESENVOLVIMENTO"

Terminada a defesa que constou da explanação do trabalho de tese feito pelo discente e da arguição pela Banca Examinadora, o discente foi considerado **APROVADO**, a secretaria do Programa, juntamente com a comprovação de que pelo menos 1 (um) artigo extraído da tese foi aceito para publicação e de que pelo menos 1 (um) artigo extraído da tese esteja em avaliação em periódicos científicos inscritos no Qualis (RGPG Art. 63), no prazo de 30 dias após esta data, quando fará jus, portanto, ao título de **"DOUTOR EM AGRONOMIA"** que para constar, lavrou-se a presente ATA, assinada pelos senhores membros da Comissão Examinadora.

Belém (PA), 2 de agosto de 2024.

Parecer da Banca Examinadora:

Como membros da banca avaliadora, nós apreciamos o trabalho intitulado "**CONSTRUINDO UM FUTURO VERDE PARA A AMAZÔNIA: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA AO DESENVOLVIMENTO**" de autoria de **José Maria de Oliveira Gomes**, por sua abordagem inovadora e abrangente das questões críticas que envolvem o desenvolvimento sustentável na Amazônia. A tese demonstra um domínio notável sobre a complexidade dos desafios enfrentados pela região, articulando de forma coerente e rigorosa a integração de aspectos ambientais, sociais e econômicos. O autor propõe estratégias sustentáveis viáveis que respeitam a biodiversidade local enquanto promovem o desenvolvimento econômico, evidenciando um profundo comprometimento com a preservação ambiental e o bem-estar das comunidades amazônicas. A metodologia baseada em séries temporais empregada é sólida e bem fundamentada, e os resultados apresentados têm potencial significativo para influenciar políticas públicas e práticas de manejo ambiental. Portanto, recomendamos a aprovação da tese. Destaca-se que **NÃO HÁ PENDÊNCIAS** de qualquer natureza com o PGAGRO e com a biblioteca da UFRA.

Belém (PA), 2 de agosto de 2024.

Presidente/Coorientador: Prof. Dr. Otávio André Chase

Assinatura:  Documento assinado digitalmente
OTAVIO ANDRE CHASE
Data: 02/08/2024 11:30:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

1º Examinador: Prof. Dr. Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo

Assinatura:  Documento assinado digitalmente
LUIZ FERNANDO GONCALVES DE FIGUEIREDO
Data: 03/08/2024 13:36:21-0300
CPF: ***.097.641-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

2º Examinador: Prof. Dr. Paulo Cerqueira dos Santos Júnior

Assinatura:  Documento assinado digitalmente
PAULO CERQUEIRA DOS SANTOS JUNIOR
Data: 05/08/2024 15:28:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

3º Examinador: Prof. Dr. Pedro Silvestre da Silva Campos

Assinatura:  Documento assinado digitalmente
PEDRO SILVESTRE DA SILVA CAMPOS
Data: 05/08/2024 15:44:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

4º Examinador: Prof. Dr. Emerson Cordeiro Morais

Assinatura:  Documento assinado digitalmente
EMERSON CORDEIRO MORAIS
Data: 05/08/2024 15:51:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedico este trabalho à minha mulher Maria Auxiliadora, que sempre esteve comigo em todos os momentos de minha vida. Nas alegrias e principalmente nas dificuldades e que sempre me encorajou e incentivou à realização deste trabalho. Essa vitória é sua também.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir mais essa oportunidade e ao Espírito Santo pela luz diária.

Agradeço à Nossa Senhora de Nazaré por todas as graças alcançadas.

À minha tia e madrinha Oneide, por me conduzir e direcionar os primeiros passos de minha vida na educação, instrução e principalmente na retidão.

Às minhas filhas Ana Cláudia e Ana Paula razão de nossas vidas e também as minhas netas Ana Júlia e Liv.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Roberto Farias, pela oportunidade, encorajamento e orientações ao longo de toda essa caminhada.

Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Otávio André Chase e Prof. Dr. Alex de Jesus Zissou, pela incansável orientação e disponibilidade em todos os momentos solicitados.

À professora Dra. Silvana Rossy de Brito, pela amizade e incentivo.

À professora Dra. Regina Feio Barroso, grande incentivadora para realização desta conquista tão importante na minha caminhada profissional. Minha eterna gratidão.

Aos professores Dr. Pedro Silvestre da Silva Campos, Dr. Emerson Cordeiro Morais, Dr. J. Felipe Almeida, Dr. Gledson Luiz Salgado de Castro e Dr. Jonilson Ribeiro Trindade, pelo apoio, colaboração e principalmente pela disponibilidade em ajudar-me à realização deste trabalho.

Ao colega Caio Castro Rodrigues, pela ajuda e disponibilidade na análise da base de dados.

Ao Prof. Dr. Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo, pela disponibilidade em participar da banca e por todas as sugestões que enriqueceram este trabalho.

Aos professores do PGAGRO pela disponibilidade, profissionalismo e dedicação.

Aos colegas do PGAGRO, pelo convívio e trocas de conhecimento.

Ao colega e amigo Nelson Ken Narusawa Nakakoji, pela sua imensa bondade e presteza.

Aos colegas professores do Instituto CiberEspacial em liberar-me para essa qualificação, principalmente os Diretores Prof. Dr. Pedro Campos e Prof. Dr. Rosemiro Galate, por incentivar-me.

À Profa. Dra. Merilene Costa, pelas oportunidades concedidas em minha vida profissional e acima de tudo pela amizade.

À Profa. Dra. Herdjanía Veras de Lima, pelo incentivo e oportunidades concedidas.

À Universidade Federal Rural da Amazônia e ao programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGAGRO) pela oportunidade de um novo aprendizado.

Por fim, agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado.

“Queixei-me que não tinha sapatos, porém calei-me, quando vi um homem sem pés.”
(Autor desconhecido)

RESUMO GERAL

O desmatamento da Amazônia Legal é um dos maiores desafios ambientais enfrentados pelo Brasil. Ao longo das últimas décadas, a região tem sofrido com um alto índice de desmatamento, que resulta na perda de biodiversidade, degradação do solo e contribuição para as mudanças climáticas.

Uma análise temporal do desmatamento indica que, apesar de altos e baixos ao longo dos anos, o desmatamento na Amazônia Legal tem se mantido em um patamar preocupante. Nos últimos anos, houve um aumento no desmatamento, especialmente em áreas de floresta nativa.

Existem diversas razões para o desmatamento na região, como a expansão da agricultura, a exploração ilegal de madeira e a ocupação desordenada. Além disso, a falta de fiscalização e punição efetiva para os responsáveis pelo desmatamento também contribui para o problema.

Para mitigar o desmatamento na Amazônia Legal e garantir a sustentabilidade da região, é necessário adotar uma abordagem multidisciplinar. Isso inclui a implementação de políticas públicas que incentivem a conservação da floresta, a expansão de unidades de conservação e a regularização fundiária.

Além disso, é fundamental fortalecer a fiscalização e punição dos responsáveis pelo desmatamento ilegal. Isso pode ser feito por meio do aumento do número de fiscais ambientais, da criação de um sistema eficiente de monitoramento e da aplicação de multas e penas mais severas para aqueles que desrespeitam a lei.

Outra solução importante é incentivar práticas sustentáveis de uso da terra na região. Isso inclui o apoio a iniciativas de agrofloresta, agricultura familiar e manejo florestal sustentável, que garantem uma exploração consciente dos recursos naturais sem a necessidade de desmatamento.

Por fim, é fundamental que a sociedade como um todo se conscientize da importância da Amazônia Legal para o equilíbrio ambiental do país e do mundo. Isso envolve a educação ambiental e o estabelecimento de parcerias entre governos, sociedade civil e setor privado para garantir a proteção da floresta e o desenvolvimento sustentável da região.

Em suma, a questão do desmatamento da Amazônia Legal exige um esforço conjunto de diferentes atores e a adoção de medidas efetivas para garantir a conservação da floresta. Somente com políticas públicas adequadas, fiscalização eficiente e práticas sustentáveis de uso da terra será possível mitigar o desmatamento e garantir a preservação da Amazônia Legal.

Palavras-chaves: Desmatamento, Amazonia Legal, Agrofloresta

ABSTRACT GERAL

The deforestation of the Legal Amazon is one of the greatest environmental challenges faced by Brazil. Over the last few decades, the region has suffered from a high rate of deforestation, which results in loss of biodiversity, soil degradation and contribution to climate change.

A temporal analysis of deforestation indicates that, despite ups and downs over the years, deforestation in the Legal Amazon has remained at a worrying level. In recent years, there has been an increase in deforestation, especially in native forest areas.

There are several reasons for deforestation in the region, such as the expansion of agriculture, illegal logging and disorderly occupation. In addition, the lack of inspection and effective punishment for those responsible for deforestation also contributes to the problem.

To mitigate deforestation in the Legal Amazon and ensure the sustainability of the region, it is necessary to adopt a multidisciplinary approach. This includes the implementation of public policies that encourage forest conservation, the expansion of conservation units and land title regularization.

In addition, it is essential to strengthen inspection and punishment of those responsible for illegal deforestation. This can be done by increasing the number of environmental inspectors, creating an efficient monitoring system and applying more severe fines and penalties for those who break the law.

Another important solution is to encourage sustainable land use practices in the region. This includes support for agroforestry, family farming and sustainable forest management initiatives, which ensure conscious exploitation of natural resources without the need for deforestation.

Finally, it is essential that society as a whole becomes aware of the importance of the Legal Amazon for the environmental balance of the country and the world. This involves environmental education and the establishment of partnerships between governments, civil society and the private sector to guarantee the protection of the forest and the sustainable development of the region.

In short, the issue of deforestation in the Legal Amazon requires a joint effort by different actors and the adoption of effective measures to guarantee forest conservation. Only with adequate public policies, efficient inspection and sustainable land use practices will it be possible to mitigate deforestation and guarantee the preservation of the Legal Amazon.

Keywords: Deforestation, Legal Amazon, Agroforestry

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1 (Análise de Atividades Antropogênicas que Contribuem para o Desmatamento na Amazônia do Brasil: Uma Visão Geral)	
Figura 1	Mapa da Amazônia Legal
Figura 2	Gráfico 1, taxas de desmatamento na Amazônia Legal de 1988 até 2022
Figura 3	Gráfico 2, taxas de desmatamento na Amazônia Legal de 1988 até 2022, em cada um dos estados
Artigo 2 (Desmatamento da Amazônia Legal: Análise Temporal e Propostas de Mitigação)	
Figura 1	Mapa de Localização e Uso e Cobertura da Terra na Amazônia Legal Brasileira entre os anos de 1988 e 2022.
Figura 2	Evolução da área de mineração na Amazônia Legal.
Figura 3	Taxa de desmatamento na Amazônia Legal Brasileira entre 1988 e 2021.
Figura 4	Comparação do Desmatamento com a evolução da Agropecuária, Pasto, Cabeças de Gado e Soja.
Figura 5	Taxa de Desmatamento e Soma da Área Total de UCs.
Figura 6	Matriz de correlação entre as variáveis
Figura 7A	A soja é a cultura temporária que apresenta a maior contribuição em áreas plantadas, em 2022
Figura 7B	Cana de Açúcar, Arroz, Algodão e outras culturas temporárias
Artigo 3 (Rumo à Sustentabilidade da Amazônia: Uma Análise e Abordagem Sistêmica e Propostas para Combater o Desmatamento)	
Figura 1	Mapa de Localização da Amazônia Legal
Figura 2	Taxas de desmatamento na Amazônia Legal, de 1988 até 2023
Figura 3	Acumulado de desmatamento na Amazônia Legal, de 1988 até 2023
Figura 4a	Comparativo entre a área desmatada em 1988 e 2022 – Área desmatada da Amazônia Legal em 1988: 21.050 Km ²
Figura 4b	Comparativo entre a área desmatada em 1988 e 2022 – Área desmatada da Amazônia Legal em 2022: 481.869 Km ²
Figura 5	Acumulado de desmatamento na Amazônia Legal, de 1988 até 2023
Figura 6	Predição do avanço da área desmatada na Amazônia Legal, até o ano 2050
Figura 7a	Relação de avanço do rebanho bovino e área de pasto com desmatamento na Amazônia Legal – Em 2022, o rebanho bovino alcançou 96 milhões de cabeças
Figura 7b	Relação de avanço do rebanho bovino e área de pasto com desmatamento na Amazônia Legal – Em 2022, a área de pasto alcançou uma área de aproximadamente 545 mil Km ²
Figura 8a	Relação do avanço das áreas de mineração e soja com o desmatamento na Amazônia Legal – Em 2022, a área de mineração alcançou uma área de aproximadamente 2.14 mil Km ²
Figura 8b	Relação do avanço das áreas de mineração e soja com o desmatamento na Amazônia Legal – Em 2022, a área de soja alcançou uma área de aproximadamente 130 mil Km ²

Figura 9 Matriz de correlação de Pearson relacionando o desmatamento da Amazônia Legal, com o quantitativo do rebanho bovino, área de pasto, área de mineração e área de soja ($R^2 = 0.99$)

LISTA DE TABELAS

Artigo 2 (Desmatamento da Amazônia Legal: Análise Temporal e Propostas de Mitigação)

Tabela 1	Idade das Áreas de Garimpo no Brasil
-----------------	--------------------------------------

Artigo 3 (Rumo à Sustentabilidade da Amazônia: Uma Análise e Abordagem Sistêmica e Propostas para Combater o Desmatamento)

Tabela 1	Ranking de desmatamento por estados da Amazônia Legal
-----------------	---

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ALB	Amazônia Legal Brasileira
AM	Amazonas
APPs	Áreas de Preservação Permanente
BR	Brasil
BR-010	Rodovia Belém-Brasília
BR-230	Rodovia Transamazônica
BR-364	Rodovia Cuiabá-Porto Velho
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DETER	Deteção de Desmatamento em Tempo Real
ESA	Agência Espacial Europeia
GO	Goiás
ha	Hectares
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILPF	Sistemas de integração entre lavoura, agropecuária e floresta
IMAZON	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Km²	Quilômetro quadrado
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
NASDESIGN	Núcleo de Abordagem Sistêmica do Design (UFSC)
OBAM	Observatório da Amazônia
ONGs	Organizações não governamentais
PA	Pará
PPCDAm	Plano de Ação e Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal
PGAGRO	Programa de Pós Graduação em Agronomia
PPGAGRO	Programa de Pós Graduação em Agronomia
PPM	Pesquisa de Pecuária Municipal
PRODES	Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite
RR	Roraima
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TO	Tocantins
UC	Unidade de Conservação
UFRA	Universidade Federal Rural da Amazônia
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
ZEE	Zonificação Ecológica-Econômica

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.1	CONCLUSÃO E REFERÊNCIAS	19
2	Análise de Atividades Antropogênicas que Contribuem para o Desmatamento na Amazônia do Brasil: Uma Visão Geral	21
	RESUMO	21
	ABSTRACT	21
2.1	Introdução	21
2.2	Material e Métodos	22
2.2.1	Área de Estudo	22
2.2.2	Coleta de Dados	22
2.2.3	Curadoria de dados	22
2.3	Resultados e Discussão	22
2.4	Conclusão	23
	REFERÊNCIAS	23
3	Desmatamento da Amazônia Legal: Análise Temporal e Propostas de Mitigação	26
	RESUMO	26
	ABSTRACT	27
3.1	Introdução	27
3.2	Método de Pesquisa	28
3.3	Análise de Série Temporal	29
3.3.1	Aquisição e processamento de dados	29
3.3.2	Análise de correlação e validação	33
3.4	Resultados e Discussão	34
3.4.1	Papeis das instituições bancárias e financeiras na desaceleração do desmatamento	35
3.4.2	Relação do desmatamento na Amazônia Legal com o Código Florestal de 2008	36
3.4.3	Visão qualitativa sobre as séries temporais no desmatamento da Amazônia	37
3.5	Considerações Finais	38
	REFERÊNCIAS	38
4	Rumo a Sustentabilidade da Amazônia: Uma Análise e Abordagem Sistêmica e Propostas para Combater o Desmatamento	42
	RESUMO	42
	ABSTRACT	43
4.1	Introdução	44
4.2	Material e Métodos	45
4.2.1	Coleta e Curadoria de Dados do Desmatamento	46
4.2.2	Ferramentas para Análise dos Dados	51
4.3	Resultados e Discussão	53
4.3.1	Soluções sistêmicas para regulação do rebanho bovino e área de pasto	58
4.3.2	Soluções sistêmicas para regulação das áreas de mineração e soja	59

4.4	Conclusão	61
	AGRADECIMENTOS	62
	REFERÊNCIAS	62
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	ANEXOS	
	DEFORESTATION OF BRAZILIAN AMAZONIA: TEMPORAL ANALYSIS AND MITIGATION PROPOSALS	67
	HEADING FOR SUSTAINABILITY IN THE AMAZON: A SYSTEMIC APPROACH AND PROPOSALS TO COMBAT DEFORESTATION	82

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O desmatamento na Amazônia Legal tem sido um problema crescente nas últimas décadas. A região abriga a maior floresta tropical do mundo, que desempenha um papel vital na regulação do clima global e na conservação da biodiversidade. No entanto, a rápida expansão da agricultura, pecuária e exploração madeireira tem levado à destruição de vastas áreas da floresta.

Uma análise temporal do desmatamento na Amazônia Legal revela um aumento preocupante nas taxas de desmatamento ao longo dos anos. Entre 2000 e 2020, a área total desmatada na região foi de mais de 400.000 quilômetros quadrados, o equivalente a cerca de 5% da área total da Amazônia Legal.

Grande parte do desmatamento ocorre devido à expansão agrícola e pecuária. A demanda por produtos como soja, carne bovina e óleo de palma tem impulsionado a conversão de florestas em áreas de cultivo e pastagens. Além disso, a exploração ilegal de madeira e a mineração também têm contribuído para o desmatamento.

Para mitigar o desmatamento na Amazônia Legal, várias medidas podem ser adotadas:

1. Reforçar a fiscalização e o combate à exploração ilegal: é essencial fortalecer os órgãos de fiscalização ambiental e o sistema de justiça para combater a exploração ilegal de madeira, mineração e outras atividades ilegais que levam ao desmatamento.
2. Promover práticas sustentáveis de agricultura e pecuária: incentivar e apoiar o uso de técnicas agrícolas e pecuárias sustentáveis, como o manejo florestal sustentável, a agrofloresta e a intensificação produtiva. Isso permite a produção de alimentos e produtos agrícolas sem a necessidade de desmatar novas áreas.
3. Fortalecer a proteção e a gestão de áreas protegidas: garantir a efetiva proteção e gestão das áreas protegidas da Amazônia Legal, como unidades de conservação e terras indígenas, que desempenham um papel crucial na conservação da biodiversidade e na redução do desmatamento.
4. Estimular a economia florestal sustentável: promover a valorização econômica da floresta em pé, por meio do manejo florestal sustentável e do desenvolvimento de cadeias

produtivas de produtos florestais legal e sustentavelmente obtidos, como a castanha-do-pará, o açaí e a borracha.

5. Incentivar a pesquisa e a inovação: investir em pesquisas e inovações tecnológicas voltadas para o desenvolvimento de soluções sustentáveis para o desmatamento, como o monitoramento remoto por satélite, sistemas de alerta precoce e práticas agrícolas de baixo carbono.

O desmatamento na Amazônia Legal é um desafio complexo que requer uma abordagem multidimensional. Ações imediatas são necessárias para conter o problema e garantir a sobrevivência da floresta amazônica e de suas comunidades. A implementação de soluções sustentáveis e o fortalecimento das políticas públicas são fundamentais para mitigar o desmatamento e promover a conservação da Amazônia Legal.

Segundo (Fearnside, 2020), o aumento do desmatamento nos últimos cinco anos não nos deveria surpreender, já que os fatores subjacentes à destruição dos bosques continuam crescendo ano após ano. A cada ano a região amazônica fica mais populosa, mais estradas penetram na selva, há mais investimentos em agricultura e pecuária, e mais projetos de grande envergadura, tais como represas hidrelétricas. As áreas ao redor das represas no rio Madeira (Santo Antônio, cuja barragem foi enchida em 2011, e Jirau, enchida em 2013) e no rio Xingu (Belo Monte, preenchida em 2015) foram pontos de intenso desmatamento. O mesmo ocorreu na estrada de Santarém a Cuiabá, que está sendo reconstruída para transportar a soja do Mato Grosso aos portos com acesso ao rio Amazonas (Pearce, 2011). Os antigos motivos do desmatamento, como a especulação fundiária, a lavagem de dinheiro e a aquisição de terras, seja obtendo o título legal de propriedade da terra ou ocupando e evitando que sejam invadidas ou confiscadas, com ou sem um documento legal, continuam existindo.

1.1 CONCLUSÃO

A presente coletânea de estudos realizou uma análise abrangente sobre a dinâmica do desmatamento na Amazônia Legal, destacando os principais fatores que contribuem para este fenômeno e propondo soluções para mitigar seus impactos. Ao longo das últimas décadas, a Amazônia tem enfrentado pressões significativas devido a atividades econômicas, como a expansão agrícola, a pecuária extensiva e a mineração ilegal, que são identificadas como as principais responsáveis pela perda de cobertura florestal.

Os dados analisados revelam que, apesar de uma redução nas taxas de desmatamento nos últimos anos, ainda há uma necessidade urgente de políticas públicas eficazes que possam promover práticas de desenvolvimento sustentável e conservar a biodiversidade. A importância da Amazônia na regulação climática global, servindo como um importante sumidouro de carbono, reforça a relevância de conter o desmatamento não apenas por razões locais, mas também como uma estratégia global de mitigação das mudanças climáticas.

As alternativas propostas neste estudo, como a adoção de modelos de agricultura sustentável e a implementação de sistemas de integração entre lavoura, pecuária e floresta (ILPF), mostram-se promissoras na conciliação entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental. Além disso, o envolvimento das comunidades locais é crucial para a gestão eficaz das áreas protegidas e para o sucesso de qualquer estratégia de conservação.

Por fim, a pesquisa destaca a necessidade de uma abordagem sistêmica e integrada que considere as complexidades sociais, econômicas e ambientais que envolvem a Amazônia. Futuros estudos podem se aprofundar em questões específicas de cada estado da região, contribuindo para um entendimento mais detalhado das dinâmicas locais e para a formulação de políticas ainda mais eficazes. A preservação da Amazônia é um desafio que requer o comprometimento de governos, organizações não governamentais e da sociedade civil, com o objetivo comum de garantir um futuro sustentável para este ecossistema vital e para as gerações vindouras.

REFERÊNCIAS

Fearnside, P. M., 2020. **“Como sempre, os negócios: o ressurgimento do desmatamento na Amazônia brasileira”**. P. 363-368. In: Fearnside, P.M. (ed.) *Destruição e Conservação da Floresta Amazônica*, Vol. 1. Editora do INPA, Manaus. 368 p. (no prelo).

Pearce, F. 2011. **“The Cerrado: Brazil’s Other Biodiverse Region Loses Ground”**. Yale Environment 360, 14 de abril de 2011. http://e360.yale.edu/features/the_cerrado_brazils_other_biodiversity_hotspot_loses_ground

ARTIGO 1
(ANÁLISE DE ATIVIDADES
ANTROPOGÊNICAS QUE CONTRIBUEM
PARA O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA
DO BRASIL: UMA VISÃO GERAL)



ISSN: 2230-9926

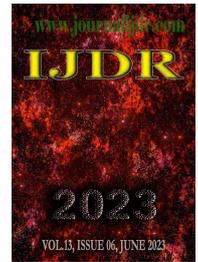
Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 13, Issue, 06, pp. 63062-63065, June, 2023

<https://doi.org/10.37118/ijdr.26847.06.2023>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

ANÁLISE DE ATIVIDADES ANTROPOGÊNICAS QUE CONTRIBUEM PARA O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA DO BRASIL: UMA VISÃO GERAL – PARTE 1

José Maria da Silveira Gomes¹, Otavio André Chase¹, Emerson Cordeiro Morais¹, José Felipe Souza de Almeida¹, Pedro Silvestre da Silva Campos¹, Alex de Jesus Zissou¹, Caio Castro Rodrigues², Jonilson Ribeiro Trindade³ and Paulo Roberto Silva Farias⁴

¹Instituto Ciberespacial, Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará, Brazil

²Instituto Tecnológico Vale, Pará, Brazil

³Museu Emílio Goeldi, Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará, Brazil

⁴Instituto Ciências Agrônômicas, Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará, Brazil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 17th April, 2023
Received in revised form
28th April, 2023
Accepted 11th May, 2023
Published online 30th June, 2023

KeyWords:

Amazônia; Desmatamento; Séries Temporais.

*Corresponding author:

José Maria da Silveira Gomes

ABSTRACT

O presente trabalho de pesquisa apresenta uma revisão de literatura, em um importante período de recorte temporal de 1988 até 2022, sobre as principais atividades antrópicas que contribuem para o desmatamento na Amazônia do Brasil (ou Amazônia Legal), região que neste país abrange nove estados: Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Para tal, foram analisadas as principais plataformas de publicações científicas e bases de dados. O estudo apresenta dados sobre as áreas foco de desmatamento na região, bem como as principais atividades antropogênicas responsáveis, com destaque para a agropecuária extensiva e a mineração ilegal. Os resultados apontam possíveis alternativas para a problemática na região, tais como adoção de modelos de agricultura sustentável, que além da produção também contribuem para a preservação da agrobiodiversidade, bem como demonstram a necessidade de adoção de políticas públicas mais efetivas na região, principalmente na questão da mineração, sendo esta, a atividade antrópica de maior impacto potencial na região.

Copyright©2023, José Maria da Silveira Gomes et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: José Maria da Silveira Gomes, Otavio André Chase, Emerson Cordeiro Morais, J. Felipe Almeida. 2023. "Análise de atividades antropogênicas que contribuem para o desmatamento na Amazônia do Brasil: uma visão geral – parte 1". *International Journal of Development Research*, 13, (06), 63062-63065.

INTRODUCTION

A Amazônia é uma região de importância mundial, possuindo biodiversidade única, e papel singular na questão ambiental (Alfaro, 2014; Ellwanger *et al.*, 2020; Rodrigues, 1989). Apesar da riqueza da região, há muito ainda de ser mais bem utilizado deste patrimônio, como seu grande potencial (Reference, Years; Trindade *et al.*, 2022). Sendo que, o Brasil é o país que apresenta a maior porção da Amazônia, e seu território abrange nove dos estados que compõem o país: Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins (Brasil, 2007a; IBGE, 2023). Porém, nas últimas décadas essa região vem sofrendo com diversas atividades antropogênicas, incluindo expansão da agropecuária sem planejamento, exploração madeireira, mineração ilegal entre outras

(Castro & Pinto, 2018; Gomes *et al.*, 2019). Haja vista que, devido ao avanço do desmatamento na Amazônia nos últimos anos, as perspectivas são alarmantes (Galúcio & Prudente, 2019). E caso medidas diretas não sejam tomadas até o ano de 2050, a floresta amazônica poderá entrar em um nível de declínio irreparável (Gomes *et al.*, 2019). Sendo que, nos últimos anos têm havido um aumento crescente na conscientização sobre a importância da preservação ambiental da Amazônia, e da necessidade de se combater efetivamente o desmatamento na região (Waroux *et al.*, 2019). Bem como, são diversas as motivações legais e sociais que ressaltam a importância de se garantir a manutenção da floresta e de seus recursos, inclusive o uso equilibrado destes recursos e a preservação do meio ambiente estão garantidos na atual constituição federativa em vigência no país (Brasil, 1988).

No entanto, os resultados dessas políticas públicas têm sido limitados, e o desmatamento continua a ser uma ameaça significativa para a Amazônia no Brasil (Carvalho *et al.*, 2019). Sendo que, o uso de técnicas modernas como estudos de bancos de dados e de séries temporais, são de grande utilidade para a compreensão e busca de soluções para questões ambientais, e seu emprego adequado pode ser uma alternativa viável para auxiliar na preservação ambiental da Amazônia no Brasil (Santos *et al.*, 2020; Zissou *et al.*, 2020). E, diante de tal contexto, este artigo de pesquisa científica apresenta em si uma revisão de dados e literaturas sobre o desmatamento na Amazônia do Brasil, em um período considerado significativo, que vai desde a vigência da atual constituição federativa do país em 1988, até o ano recente de 2022. Com objetivo de assim, analisar as principais atividades antropogênicas que contribuem para o desmatamento na Amazônia do Brasil, e suas relações como os contextos locais, a fim de assim, destacar quais as áreas e pontos específicos prioritários de ações.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo: A Amazônia do Brasil ou Amazônia Legal (Figura 1) abrange uma área de 5.217.423 km², e que representa cerca de 61% do território brasileiro (Brasil, 2007b). E, conforme já foi informado anteriormente, seu território abrange nove dos estados que compõem o país: Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins (Brasil, 2007ab).



Figura 1. Mapa da Amazônia Legal. Fonte: Autoral

A coleta de dados na presente pesquisa científica teve como objetivo analisar dados recentes, e para tal, foram realizadas consultas em bases de dados digitais, com o período de busca definido entre os anos de 1988 até 2022. Bem como, foram consultados dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) do Governo do Brasil. E, os demais procedimentos utilizados, estão de acordo com metodologias adotadas em estudos de bancos de dados (Bittencourt & Paula, 2012; Gomes *et al.*, 2018; Sombra *et al.*, 2020; Trindade *et al.*, 2022; Zissou *et al.*, 2021).

Curadoria de dados: A fim de garantir a qualidade dos dados utilizados neste estudo, foi realizada uma curadoria de dados, sendo que, a curadoria digital é essencial para garantir a integridade e a preservação de dados em pesquisas, especialmente considerando a crescente dependência de tecnologias digitais (Sayão & Sales, 2012). A curadoria digital abrange a gestão de dados desde a coleta até a sua preservação a longo prazo, bem como outras formas de sua utilização. Nesse sentido, esta pesquisa busca sistematizar e disponibilizar dados sobre o desmatamento na Amazônia do Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a questão do desmatamento na Amazônia do Brasil, através de dados obtidos do PRODES (Projeto de Monitoramento do

Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite), é possível observar que, no período de 1988 até 2022, as taxas variam significativamente, conforme demonstra o Gráfico 1 (Figura 2), logo abaixo:

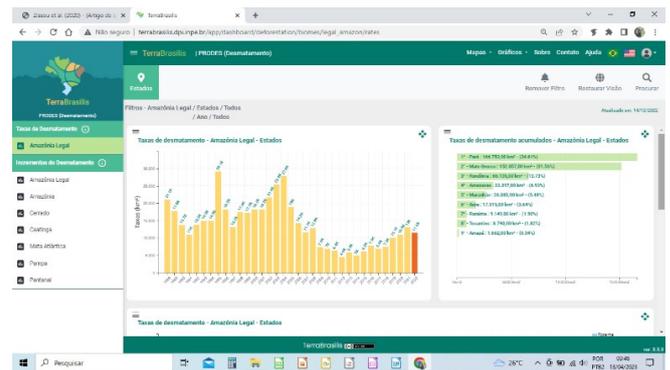


Figura 2. Gráfico 1, taxas de desmatamento na Amazônia Legal de 1988 até 2022. Fonte: Dados obtidos em PRODES (2023)

Bem como, é possível observar que desde o início desta série de dados expressa em km² a diminuição nas taxas de desmatamento na Amazônia do Brasil nos últimos anos, em especial a partir da segunda metade da década dos anos 2000 (a partir do ano de 2005). Sendo que, no início desta série as taxas exibiam valores como 21.000 km² em 1988, mas a partir do ano de 2005 os valores exibidos se mantiveram inferiores aos 20.000 km², apesar de que com variações abaixo deste nível, e apresentando o seu valor mínimo nesta série em 2012, com a taxa expressa em cerca de 4.600 km². Ou seja, nos últimos anos o desmatamento na Amazônia do Brasil reduziu em níveis significativos, apresentado uma redução em valores de quase 10.000 km², desde o início da série em 1988 com 21.100 km² até o último ano de 2022 com cerca de 11.600 km², uma queda de cerca de 45%. No entanto, é claro que tais valores ainda apresentados não são considerados aceitáveis, em se tratando da questão da preservação ambiental de um bioma tão importante como a Amazônia, sendo desejável que tais taxas possam decair ainda mais, e se possível chegar em valores ideais próximos ao zero. A possível causa desses valores expressos está relacionada diretamente com a história de ocupação desta área, onde houveram intensos fluxos migratórios a partir da segunda metade do século XX, muito em parte influenciados por políticas governamentais que visavam a ocupação da região, antes consideradas como “um vazio demográfico e que deveria ser ocupado”, que resultou na recente urbanização da região (Hogan, 1997). Sendo que, tal fluxo migratório e consequente crescimento populacional se estabilizou a partir de meados do século XXI, somando a isso, a implementação de políticas de fiscalização mais rigorosas, bem como a implementação de diversas legislações, a citar a própria constituição federativa do Brasil de 1988, que estabelece a questão da preservação ambiental como um de seus direitos assegurados pela legislação. Bem como, tais valores de decaimento expressos a partir do início dos anos 2.000, são reflexo do aumento do uso de tecnologias avançadas na fiscalização ambiental, como de imagens por satélites e outras. Assim como, a rápida difusão de informações por meio da internet e outros fatores aliados, contribuíram para significativos avanços no combate ao desmatamento nos últimos anos na Amazônia do Brasil. Ao observar os dados de desmatamento na Amazônia do Brasil no período de 1988-2022, em relação aos nove estados do território que a floresta abrange, é possível ter uma noção mais ampla dessa questão, conforme representado no Gráfico 2 (Figura 3), logo abaixo: É possível observar que, os estados do Pará e Mato Grosso, se revezaram na liderança apresentado as maiores taxas desde o início da série analisada (1988-2022), e junto do Amazonas que aparece em destaque nos últimos anos, também correspondem aos maiores estados da região e do Brasil (1º Amazonas, 2º Pará e 3º Mato Grosso). Ou seja, os estados com as maiores taxas de desmatamento na Amazônia são os que apresentam as maiores áreas no território brasileiro, sendo que, esses números são reflexos de fatores geográficos, sociais e políticos de cada um deles. Sendo que, esses estados assim como os outros da Amazônia do Brasil apresentaram

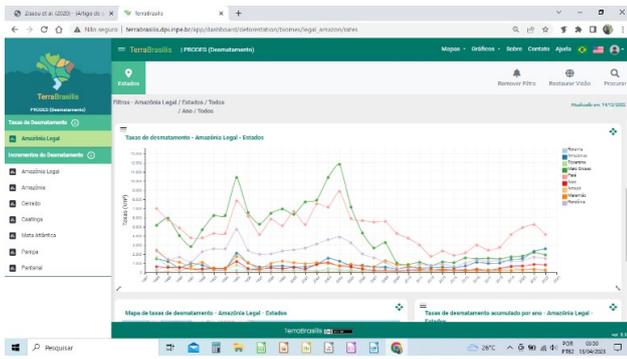


Figura 3. Gráfico 2, taxas de desmatamento na Amazônia Legal de 1988 até 2022, em cada um dos estados. Fonte: Dados obtidos em PRODES (2023)

elevadas taxas de crescimentos em suas populações nos últimos anos (IBGE, 2023). Ou seja, a questão da diminuição das áreas de florestas nativas está diretamente ligada com aumento populacional e questões sociais, pois a região amazônica não é formada apenas por recursos naturais de origem vegetal, mas também de populações humanas, sendo que, em estudos como estes fatores antrópicos devem ser considerados necessariamente. Agora quanto aos estados com menores índices de desmatamento, foram: Amapá, Roraima e Tocantins, com taxas inferiores a 2% cada, o que também é reflexo de questões de movimentos populacionais, pois esses estados são alguns dos mais recentes criados no Brasil. Ou seja, sua área de preservação permanece resguardada por serem de recente criação e fluxos migratórios de ocupação da região, sendo assim, suas áreas são bem mais preservadas por haverem reduzida população e ações antropogênicas. Bem como, isso também é o reflexo de boas políticas locais de preservação ambiental bem implementadas em seus territórios desde o início de seu estabelecimento. Os resultados indicam redução de atividades intensivas e prejudiciais na região, bem como demonstram que as tradicionais atividades antes consideradas prejudiciais para a manutenção da floresta, a exemplo da agropecuária, tem se modificado com o tempo, assumindo configurações menos agressivas. Bem como, tais atividades também se desenvolveram e acompanharam as crescentes demandas internas e externas de busca por alternativas de produção aliadas à preservação ambiental. A exemplo da crescente adoção de sistemas de integração entre lavoura, agropecuária e floresta (ILPF). Nesse contexto, em vista da questão da agropecuária como um fator determinante em questões ambientais na Amazônia, surge a necessidade do uso de seus recursos de forma sustentável, o que nos leva a questão Agrobiodiversidade, que diz respeito a riqueza da biodiversidade presente em sistemas agrícolas (Santilli, 2009; Frausin *et al.*, 2020). Bem como, é sabido que a adoção de técnicas agrícolas modernas como consórcio de atividades de agropecuária com a preservação ambiental é uma solução para a produção de insumos e bem-estar das populações locais, regionais e até mundiais (Conab, 2007). Vale ressaltar que a agricultura ou agronegócio não são as atividades mais danosas na região, em relação a outras atividades que mais tem impactado à região, como a questão dos garimpos ilegais (Mataveli *et al.*, 2023). E, atualmente a agricultura empregada na região busca ser sustentável, adotando modelos menos danosos, bem como esta é uma importante fonte de renda e de desenvolvimento para a região, ou seja, quando bem manejada, poder ser uma aliada do desenvolvimento e da preservação na região (Matorano, 2016). Os dados aqui apresentados contribuem significativamente para maiores conhecimentos acerca da questão de desmatamento e da agrobiodiversidade na região amazônica, pois de acordo com Trindade *et al.* (2022) estudos que proporcionam bancos de dados são fundamentais para a compreensão destas e de outras questões na região e no país.

CONCLUSÃO

O presente estudo apresenta uma análise temporal da questão do desmatamento na Amazônia brasileira. Os dados aqui apresentados

fornece uma importante base de dados para futuros estudos acerca de temas correlacionados sobre a questão. A questão do desmatamento na Amazônia é complexa e envolve vários fatores, incluindo o aumento populacional e a pressão por atividades econômicas na região. Mas é notório através dos dados observados que o desmatamento na Amazônia do Brasil reduziu significativamente nos últimos anos. No entanto, ainda é extremamente importante conscientizar a população sobre a importância da preservação ambiental e buscar soluções que permitam o desenvolvimento econômico sem prejudicar o meio ambiente. Cada vez mais é necessário conscientizar as novas gerações acerca da importância da preservação ambiental, ou seja, de aliar desenvolvimento social com preservação ambiental. E, futuros trabalhos podem abordar questões específicas em cada um dos estados que compõem a região, bem como aqueles que ainda apresentam maiores índices.

Agradecimentos: Ao PPGAGRO da UFRA, e toda a Equipe que integra o Observatório da Amazônia (OBAM) e todos que de alguma forma colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

- Alfaro, R. I.; Fady, B.; Vendramin, G. G.; Dawson, I. K.; Fleming, R. A.; Sáenz-Romero, C.; Lindig-Cisneros, R. A.; Murdock, T.; Vinceti, B.; Navarro, C. M.; Skrøppa, T.; Baldinelli, G., El-Kassaby, Y. A.; Loo, J. 2014. The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. *Forest Ecology and Management*, 333: 76-87. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.006>
- Bittencourt, L. A. & Paula, A. 2012. Análise cienciométrica de produção científica em unidades de conservação federais do Brasil. *Revista Enciclopédia biosfera*, 8(14). <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4020>.
- Brasil 2007a. Lei 5173 - Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/15173.htm
- Brasil 2007b. Saiba mais sobre a Amazônia legal. Câmara dos Deputados do Brasil. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/110168-saiba-mais-sobre-a-amazonia-legal/>
- Brasil. 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília-DF, Supremo Tribunal Federal.
- Carvalho, W. D.; Mustin, K.; Hilário, R. R.; Vasconcelos, I. M.; Eilers, V.; Fearnside, P. M. 2019. Deforestation control in the Brazilian Amazon: A conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(3): 122-130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.06.002>
- Castro, E.; Pinto, R. F. 2018. Decolonialidade e sociologia na América Latina. – Belém-PA, NAEA: UFPA, 394p. Disponível em: <https://hal.science/hal-03088667/document>
- Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. 2009. Agricultura e Abastecimento Alimentar: políticas públicas e mercado agrícola. Brasília – DF: Conab, 548p.
- Ellwanger, J. H.; Kulmann-Leal, B.; Kaminski, V. L.; Valverde-Villegas, J. M.; Veiga, A. B.; Spilki, F. R.; Fearnside, P. M.; Caesar, L.; Giatti, L. L.; Wallau, G. L.; Almeida, S. E. M.; Borba, M. R.; Hora, V. P.; Chies, J. A. B. 2020. Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. 92(1): e20191375, DOI: 10.1590/0001-3765202020191375
- Frausin, G.; Brosler, E. & Bentes, L. 2020. Maués, Amazonas-Brasil: Agrobiodiversidade e agricultura familiar. Field Museum, Chicago IL, USA. Disponível em: fieldguides.fieldmuseum.org
- Galúcio, A. V.; Prudente, A. L. (Org.). 2019. Museu Goeldi: 150 anos de Ciência na Amazônia. Belém-PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 387p.
- Gomes, J. M. S.; Silva, A. S.; Brito, S. R.; Mata, E. C.; Barroso, R. F. F.; Frances, C. R. L. 2018. Incidence of leprosy in the Brazilian

- amazon region and its analogy in relation to brazilian municipalities: a sociodemographic analysis using bayesian networks. *International Journal of Development Research*, 08, 24189-24194 p.
- Gomes, V. H. F.; Vieira, I. C. G.; Salomão, R. P.; Ter Steege, H. 2019. Amazonian tree species threatened by deforestation and climate change. *Nature Climate Change*, 9, p. 547-553. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0500-2>
- Hogan, D. J. 1997. Mudança ambiental e o novo regime demográfico. In: Cavalcanti, C. (Org.) (1997). Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas. 3 Ed. São Paulo – SP: CORTEZ EDITORA. 436p.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) – Amazônia Legal. (2023). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html>
- Martorano, L. G.; Siviero, M. A.; Tourne, D. C. M.; Vieira, S. B.; Fitzjarrald, D. R.; Vettorazzi, C. A.; Brienza Junior, S.; Yeared, J. A. G.; Meyering, E.; Lisboa, L. S. S. 2016. Agriculture and forest: A sustainable strategy in the Brazilian Amazon. *Australian Journal of Crop Science*, 10(8): 1136-1143.
- Mataveli, G.; Chaves, M.; Guerrero, J.; Escobar-Silva, E. V.; Conceição, K.; Oliveira, G. 2022. Mining Is a Growing Threat within Indigenous Lands of the Brazilian Amazon. *Remote Sensing*, 14(16), 4092.
- PRODES – Deforestation in Brazilian Amazonia 2023. Available in: http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates
- Rodrigues, R.M. A FLORA DA AMAZÔNIA. Belém-PA, CEJUP, 1989, p.136-137.
- Santilli, J. 2009. Agrobiodiversidade e direitos dos agricultores. Editora Peirópolis LTDA.
- Santos, A. V. F.; Anhê, B. B.; Soares, J. A. C. ; Bastos, L. F.; Lins, P. M. P.; Farias, P. R. S.; Batista, T. F. C.; Silva A. G. 2020. Distribuição espaço-temporal da doença murcha-de-phytonomas em plantio de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) na Amazônia oriental. *International Journal of Development Research*, 10, 40437-40442 p. DOI: <https://dx.doi.org/10.37118/ijdr.19894.09.2020>.
- Sayão, L. F. & Sales, L. F. 2012. Curadoria digital: um novo patamar para a preservação de dados digitais de pesquisa. *Revista Informação & Sociedade*, 22(3), p. 179-191. <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/ies/article/view/12224>.
- Schoolar Google 2023. Consulta à base de dados. <https://scholar.google.com.br>
- Sombra, T. R., Santini, M. R., Morais, E. C., Couto, W. O., Zissou, A. J., Campos, P. S. S., Almeida, J. F. S., Chase, O. A. 2020. Redes sociais científicas e inteligência artificial – uma revisão sistemática aplicada a reconhecimento de padrões / Scientific social networks and artificial intelligence - a systematic review applied to recognition of standards. *Brazilian Journal of Development*, 6(3): 941-9954. DOI:10.34117/bjdv6n3-030
- Trindade, J. R., Santos, J. U. M. & Gurgel, E. S. 2022. Estudos com plantas espontâneas no Brasil: uma revisão. *Research, Society and Development*, 11(7), e14111729700. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29700>
- Waroux, Y. L. P.; Garrett, R. D.; Graesser, J., Nolte, C.; White, C.; Lambin, E. F. 2019. The restructuring of South American soy and beef production and trade under changing environmental regulations. *World Development*, 121: 188-202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.05.034>
- Zissou, A. J.; Farias, P. R. S.; Chase, O. A. 2020. Agribusiness in the brazilian amazonia: a general overview. *International Journal of Development Research*, v. 10, p. 41193-41197. DOI: <https://dx.doi.org/10.37118/ijdr.20286.10.2020>
- Zissou, A. J.; Farias, P. R. S.; Chase, O. A. (2021). Modelo do Observatório do Conhecimento Amazônico de Agronomia (OBAMA): um meio para integração sustentável da produção agropecuária no estado do Pará. *International Journal of Development Research*, 11, 43195-43206 p., 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.37118/ijdr.20779.01.2021>

ARTIGO 2
**(DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA LEGAL:
ANÁLISE TEMPORAL E SOLUÇÕES PARA
MITIGAÇÃO)**



DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA LEGAL: ANÁLISE TEMPORAL E PROPOSTAS DE MITIGAÇÃO

José Maria da Silveira Gomes¹
Caio Castro Rodrigues²
Gledson Luiz Salgado de Castro³
Alex de Jesus Zissou⁴
Emerson Cordeiro Moraes⁵
Pedro Silvestre da Silva Campos⁶
Otavio Andre Chase⁷
Paulo Roberto Silva Farias⁸

RESUMO

Objetivo: O objetivo desta pesquisa é analisar o desmatamento na região da Amazônia brasileira desde 1988, identificando padrões e fatores determinantes. Além disso, busca propor soluções para reduzir o avanço do desmatamento na região.

Referencial teórico: O referencial teórico desta pesquisa se baseia em conceitos e teorias relacionados ao desmatamento, incluindo estudos anteriores sobre os impactos e causas do desmatamento na Amazônia Legal.

Método: O método utilizado nesta pesquisa é a análise de séries temporais, fazendo uso de dados confiáveis provenientes de imagens de satélite e relatórios oficiais. A análise inclui a avaliação das tendências ao longo do tempo, a identificação de fatores determinantes por meio de análises de regressão e a avaliação dos impactos ecológicos, sociais e econômicos.

Resultados e conclusão: Os resultados revelam mudanças significativas nas taxas de desmatamento ao longo do período analisado. Identificam também os principais fatores impulsionadores, como expansão agrícola, desenvolvimento de infraestrutura e dinâmica do uso da terra. Os impactos do desmatamento, incluindo a perda de biodiversidade e o deslocamento de comunidades indígenas, são destacados.

Implicações da pesquisa: As implicações desta pesquisa são vastas e abrangem políticas públicas, práticas de conservação e desenvolvimento sustentável. Destaca a necessidade de ações imediatas para conter o desmatamento, protegendo a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e os direitos das comunidades indígenas.

Originalidade/valor: A originalidade desta pesquisa reside na combinação da análise de séries temporais com a proposta de soluções abrangentes para o problema do desmatamento na Amazônia brasileira. Segundo este estudo,

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: silveira.gomes@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-5177-536X>

² Instituto Tecnológico Vale (ITV), Belém, Pará, Brasil. E-mail: caiocastro.eng@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9147-8162>

³ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: gledson.castro@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3126-6720>

⁴ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: alex.zissou@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4519-3259>

⁵ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: emerson.morais@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5419-2023>

⁶ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: pedro.campos@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8476-5569>

⁷ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: otavio.chase@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0246-8339>

⁸ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: paulo.farias@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9212-8957>



a análise de séries temporais revelou que as principais implicações no desmatamento da Amazônia Legal estão associadas às atividades de garimpo e cultivo de soja.

Palavras-chave: Amazônia Brasileira, Desmatamento, Análise Temporal, Serviços Ecossistêmicos, Desenvolvimento Sustentável.

DEFORESTATION OF BRAZILIAN AMAZONIA: TEMPORAL ANALYSIS AND MITIGATION PROPOSALS

ABSTRACT

Objective: The aim of this research is to analyze deforestation in the Brazilian Amazon region since 1988, identifying patterns and determining factors. Additionally, it seeks to propose solutions to reduce the advancement of deforestation in the region.

Theoretical reference: The theoretical framework of this research is based on concepts and theories related to deforestation, including previous studies on the impacts and causes of deforestation in the Legal Amazon.

Methodology: The method used in this research is time series analysis, utilizing reliable data from satellite images and official reports. The analysis includes evaluating trends over time, identifying determining factors through regression analyses, and assessing ecological, social, and economic impacts.

Results and Conclusion: The results reveal significant changes in deforestation rates over the analyzed period. They also identify key driving factors such as agricultural expansion, infrastructure development, and land-use dynamics. The impacts of deforestation, including biodiversity loss and the displacement of indigenous communities, are highlighted.

Research Implications: The implications of this research are extensive and cover public policies, conservation practices, and sustainable development. It emphasizes the need for immediate actions to curb deforestation, protecting biodiversity, ecosystem services, and the rights of indigenous communities.

Originality/Value: The originality of this research lies in the combination of time series analysis with the proposal of comprehensive solutions to the problem of deforestation in the Brazilian Amazon. According to this study, time series analysis revealed that the main implications for deforestation in the Legal Amazon are associated with mining and soybean cultivation.

Keywords: Brazilian Amazon, Deforestation, Time Series Analysis, Ecosystem Services, Sustainable Development.

RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1 INTRODUÇÃO

A Amazônia, a maior floresta tropical do mundo, desempenha um papel vital na estabilidade do clima global, na conservação da biodiversidade e no equilíbrio ecológico do planeta. Nos últimos anos, entretanto, a região tem enfrentado um desafio crescente e preocupante: o desmatamento (AGÊNCIA SENADO, 2023). A perda de cobertura florestal na Amazônia não apenas ameaça a própria floresta, mas também tem repercussões significativas em escala global (Bryce, 2023; MPF, 2022).

A análise de séries temporais do desmatamento na Amazônia é fundamental para compreender a dinâmica desse processo e identificar os fatores que contribuem para o avanço das atividades de desmatamento na região (Alencar, 2004; Assunção et al., 2023; Shukla et al.,



1990). O desmatamento na Amazônia tem raízes complexas e multifatoriais, envolvendo questões econômicas, políticas, sociais e ambientais (MMA, 2017).

Este estudo se propôs a analisar as séries temporais de desmatamento na Amazônia e identificar as atividades que mais contribuem para essa degradação ambiental. Ao longo do tempo, a crescente demanda por terras para a agricultura, a pecuária, a mineração e outras atividades econômicas desempenhou um papel significativo no desmatamento da região (Fearnside, 2022b).

Políticas de uso da terra, reformas agrárias, infraestrutura, bem como práticas ilegais, como o garimpo e a exploração madeireira não regulamentada, também influenciaram o aumento das taxas de desmatamento (Fearnside, 2022c).

Compreender a relação entre o desmatamento e essas atividades é essencial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de conservação e para o cumprimento das metas de mitigação das mudanças climáticas. Além disso, esse conhecimento é crucial para a tomada de decisões informadas que visem a proteção da Amazônia e a garantia de sua contribuição para a manutenção do equilíbrio ambiental global (Fearnside, 2022a).

O presente estudo utiliza análises de séries temporais e dados quantitativos para lançar luz sobre os fatores que impulsionam o desmatamento na Amazônia e busca contribuir para o embasamento científico das políticas de conservação e manejo sustentável da floresta. A preservação da Amazônia é uma responsabilidade compartilhada por toda a humanidade, pois os impactos do desmatamento na região reverberam em todo o mundo, afetando o clima, a biodiversidade e a qualidade de vida das futuras gerações.

Neste contexto, este estudo é um passo importante na direção da compreensão e da ação para conter o desmatamento na Amazônia e garantir a preservação deste patrimônio natural inestimável para as gerações presentes e futuras. A identificação das atividades mais impactantes nesse processo é um passo fundamental para desenvolver estratégias de conservação e políticas públicas que possam conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, promovendo a sustentabilidade na região amazônica.

A pesquisa do presente trabalho busca responder a seguinte pergunta: É possível identificar os principais fatores de desmatamento na Amazônia Legal?

A hipótese é que a análise temporal do desmatamento tem o potencial de quantificar as atividades preponderantes no processo de desmatamento na Amazônia Legal. A partir dessa análise, é possível identificar medidas específicas que podem ser implementadas para mitigar e conter o desmatamento na região da Amazônia Legal.

O presente estudo busca contribuir na ampliação de soluções para as questões relacionadas ao contexto do desmatamento na Amazônia Legal. Os resultados auxiliarão os governantes, habitantes e o mundo a tomarem decisões que diminuam o impacto ambiental, aumentando assim a segurança da floresta amazônica.

Conforme descrito neste estudo, a análise de séries temporais possibilitou mostrar que as atividades de garimpo e cultura de soja, são as que mais influem no desmatamento da Amazônia Legal.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Na análise da cobertura do desmatamento na Amazônia Legal por séries temporais, duas ferramentas fundamentais foram empregadas. Para a avaliação da taxa anual de desmatamento, utilizaram-se informações provenientes do PRODES-DETER (INPE, 2023). A análise detalhada do uso e cobertura do solo baseou-se na Coleção 8.0 do MapBiomas (SEEG, 2023). O processamento destes dados por séries temporais permite examinar e interpretar padrões, tendências e flutuações nas taxas de desmatamento ao longo de períodos específicos.



Na abordagem do uso e cobertura do solo, a pesquisa concentrou-se em diversas categorias, como Pastagem, Culturas Temporárias, Culturas Perenes, Mineração Industrial, Garimpo e Áreas Urbanas. Esse enfoque abrangente permitiu uma compreensão aprofundada das dinâmicas que contribuem para o desmatamento na região da Amazônia Legal.

Os dados precisos e atualizados fornecidos pelo PRODES-DETER e pela Coleção 8.0 do MapBiomias possibilitaram uma análise mais robusta e abrangente das mudanças na cobertura florestal. Essa abordagem, ao considerar múltiplos aspectos do uso do solo, oferece uma visão mais completa das atividades que impactam a região, sendo crucial para orientar estratégias eficazes de conservação e gestão sustentável.

O projeto PRODES realiza o monitoramento por satélite do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal e produz, desde 1988, as taxas anuais de desmatamento na região, que são usadas pelo governo brasileiro para o estabelecimento de políticas públicas. As taxas anuais são estimadas a partir dos incrementos de desmatamento identificados em cada imagem de satélite que cobre a Amazônia Legal.

Independente do satélite e sensores utilizados, a área mínima mapeada pelo PRODES é de 6,25 hectares. As estimativas são consideradas confiáveis pelos cientistas nacionais e internacionais (Kintisch, 2007). Esse sistema tem demonstrado ser de grande importância para ações e planejamento de políticas públicas da Amazônia. Resultados recentes, a partir de análises realizadas com especialistas independentes, indicam nível de precisão próximo a 95% (INPE, 2023).

O MapBiomias é um projeto de mapeamento anual da cobertura e uso da terra do Brasil, desenvolvido por uma rede colaborativa de organizações não governamentais (ONGs), universidades e empresas de tecnologia (SEEG, 2023). O projeto foi lançado em 2015 e tem como objetivo fornecer informações precisas e atualizadas sobre as mudanças do território brasileiro, para apoiar a tomada de decisões sobre conservação, uso sustentável dos recursos naturais e combate às mudanças climáticas.

3 ANÁLISE DE SÉRIE TEMPORAL SOBRE O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL

Esta sessão apresenta a aquisição, processamento e validação dos dados. O propósito é demonstrar correlações e percepções acerca das atividades que mais contribuem para o desmatamento na Amazônia Legal.

3.1 Aquisição e Processamento de Dados

A Figura 1 apresenta a área de interesse deste estudo, a Amazônia Legal, no contexto do avanço do desmatamento de 1988 a 2022.

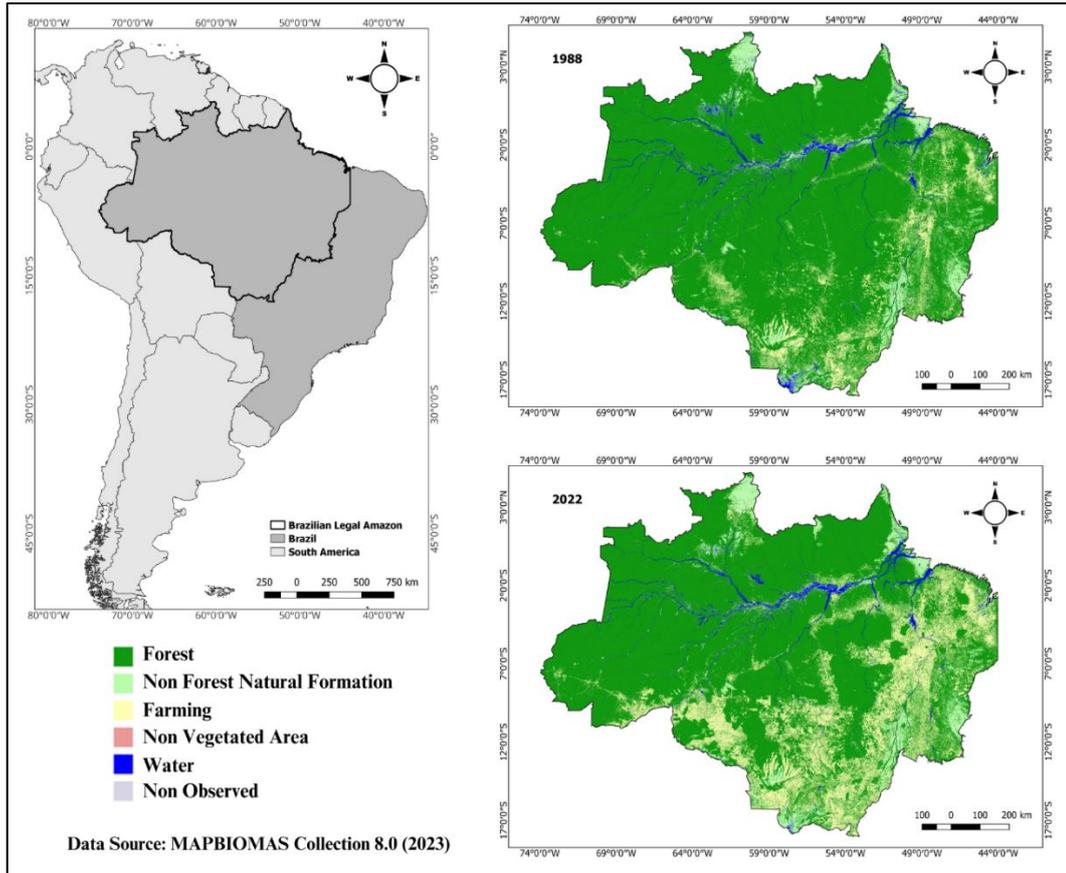


Figura 1: Mapa de Localização e Uso e Cobertura da Terra na Amazônia Legal Brasileira entre os anos de 1988 e 2022.

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos da coleção MAPBIOMAS 8.0 (SEEG, 2023).

De acordo com os dados fornecidos pelo MapBiomias, 92% da área de garimpo no Brasil está localizada na região da Amazônia, e apenas no ano de 2022, essa área aumentou em 337 km². O gráfico apresentado na Figura 2 revela uma tendência notável de crescimento dos garimpos nos últimos anos, sem precedentes.

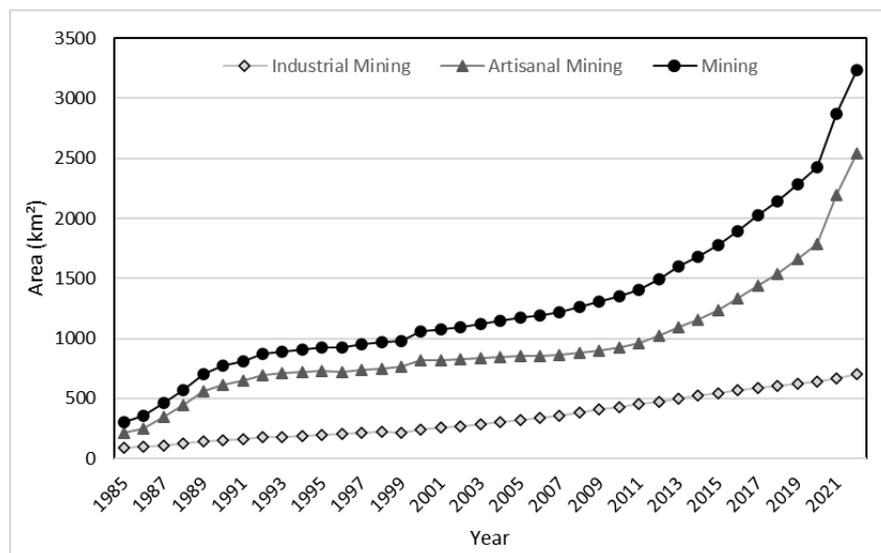


Figura 2: Evolução da área de mineração na Amazônia Legal.

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos da coleção MAPBIOMAS 8.0 (SEEG, 2023).



Essa tendência também se reflete na idade dos garimpos na Amazônia, vide Tabela 1, onde 40,7% das áreas de exploração foram abertas nos últimos 5 anos, contando do ano de 2022.

Tabela 1: Idade das Áreas de Garimpo no Brasil

Idade do Garimpo	Amazônia	Terra Indígena	Unidade de Conservação
≤ 5 anos	40,70%	62,30%	42,80%
≥ 5 anos e ≤ 10 anos	17,70%	21,90%	24,00%
≥ 10 anos e ≤ 20 anos	10,00%	3,70%	11,50%
≥ 20 anos	31,60%	12,10%	21,70%

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos da coleção MAPBIOMAS 8.0 (SEEG, 2023).

Nas terras indígenas, esse percentual de garimpo chega a 62,3%, e em unidades de conservação, alcança 42,8% nos últimos 5 anos. Em 2022, impressionantes 78,39% da área total de mineração na Amazônia Legal foi ocupada por garimpos, sendo que 85,4% dessa atividade está associada à extração de ouro (SEEG, 2023).

A atividade de desmatamento retrocede a década de 1960, quando foi implementado o plano governamental para ocupação, integração e desenvolvimento da Amazônia Legal Brasileira (ALB), o qual impulsionou investimentos em projetos de grande porte, ofereceu incentivos fiscais a empreendimentos privados e implementou políticas de migração, resultando na atração de uma quantidade significativa de pessoas e empreendimento agropecuários para a região (Oliveira et al., 2021).

Já (Laurance et al., 2004) consideram que os grandes projetos de infraestrutura na ALB, principalmente a construção das rodovias, como a BR-230 (Transamazônica), BR-010 (Belém-Brasília) e BR-364 (Cuiabá-Porto Velho), desencadearam um forte movimento de especulação fundiária, que por sua vez contribuíram para níveis catastróficos de desmatamento ao redor dessas rodovias, região atualmente conhecida como “Arco do Desmatamento da Amazônia Brasileira”, que se estende desde o Oeste do Maranhão, Sudeste/Sul do Pará, em direção a Oeste passando pelos estados de Mato Grosso, Rondônia e Acre (Domingues & Bermann, 2012).

Corroborando com essa ideia, (Fearnside, 2022c) considera também que os incentivos governamentais desempenharam um papel crucial no impulsionamento do desmatamento na ALB entre as décadas de 1970 e 1980, pois a terra era muito valorizada e a retirada das florestas possibilitava a reivindicação do território, mesmo que seja discutido um movimento de especulação nessa dinâmica. Nesse período, a substituição da vegetação original ocorreu principalmente para conversão em grandes áreas de pastos e monoculturas, em especial a soja (Ribeiro & Marzari, 2020).

Entretanto, devido aos grandes pacotes de incentivos fiscais e subsídios governamentais, os grandes latifundiários da ALB tornaram-se mais sensíveis às mudanças econômicas. Com isso, a hiperinflação e recessão econômica entre a segunda metade da década de 1980 e início da década de 1990 reduziram o crédito rural e os investimentos em infraestrutura e projetos de assentamentos, além de pressões internacionais para conservação da Amazônia, limitando a expansão de atividades agropecuárias, o que explica a redução nas taxas de desmatamento nesse período (Fearnside, 2022b; Messias et al., 2021), conforme apresenta a Figura 3.

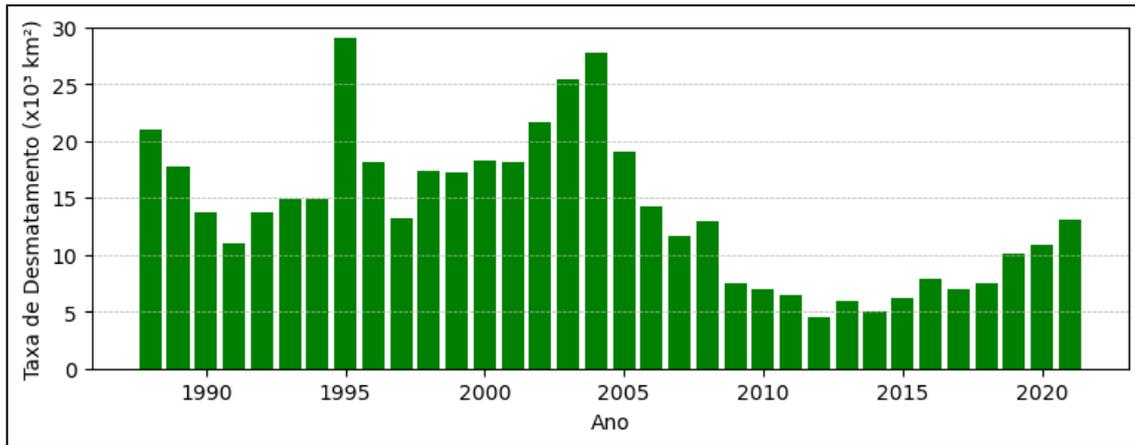


Figura 3: Taxa de desmatamento na Amazônia Legal Brasileira entre 1988 e 2021.

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos do sistema PRODES-DETER (INPE, 2023).

Seguindo a mesma linha de pensamento, (Fearnside, 2022a) destaca que a maior taxa de desmatamento da série temporal (29.059 km²), em 1995, pode ser atribuído à recuperação econômica impulsionada principalmente pelo Plano Real, resultando em maior disponibilidade de crédito rural. Além disso, a queda subsequente na taxa de desmatamento nos anos de 1996 e 1997 foi considerada uma resposta lógica à nova política econômica, uma vez que houve uma redução drástica na inflação, causando queda no preço da terra, não sendo favorável a movimentos especulativos.

Ademais, entre 1995 e 1997 houve uma aceleração na demarcação de Terras Indígenas e a criação de Unidades de Conservação – UC (Messias et al., 2021). Em seguida, no período de 1998 a 2004, a taxa anual de desmatamento obteve um aumento de aproximadamente 60%, atingindo o segundo maior valor da série temporal, com 27.772 km², conforme apresenta a Figura 4. A pesquisa de (Alencar, 2004) demonstra que esse aumento são consequências da grande procura internacional por carne bovina e soja.

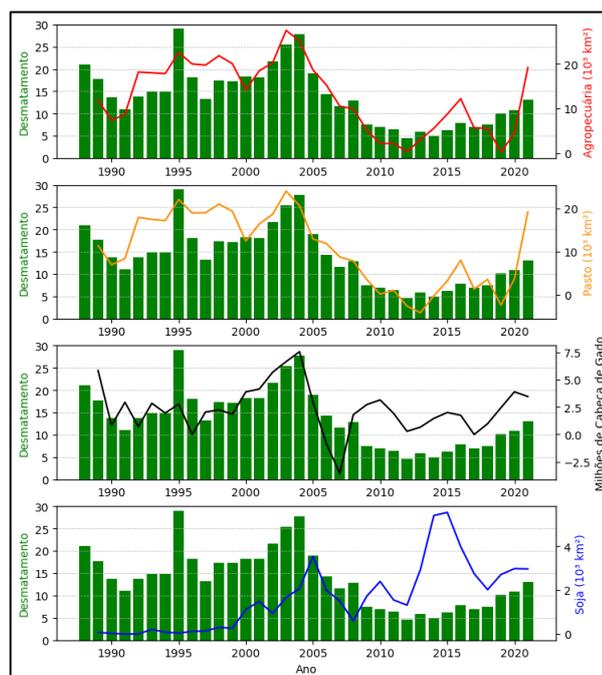


Figura 4: Comparação do Desmatamento com a evolução da Agropecuária, Pasto, Cabeças de Gado e Soja.

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos dos sistemas PRODES-DETER (INPE, 2023) e IBGE Produção Agropecuária (IBGE, 2022).



Nos anos de 2005, 2006 e 2007, observou-se uma queda substancial na taxa de desmatamento, (Messias et al., 2021) e (Lélis et al., 2019) expõem que esse fato tem influência da crise da commodities, pois reduziram as demandas por carne bovina e soja, refletindo a redução do rebanho e a queda abrupta no incremento de área plantada de soja no período.

Além disso, diante do preocupante cenário de desmatamento ocorrido em 2004, o governo brasileiro implementou o Plano de Ação e Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (MMA, 2017), atuando no ordenamento fundiário e territorial, monitoramento e controle ambiental e fomento às atividades produtivas sustentáveis, envolvendo parcerias entre órgãos federais, estaduais e municipais. Em paralelo, foi criado o sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) por meio de sensoriamento remoto, ferramenta capaz de criar boletins diários do desmatamento e auxiliar em ações de fiscalizações (MMA, 2017).

O PPCDAm proporcionou o destravamento de diversos processos para criação de UCs, somente nos anos de 2005 e 2006 foram adicionados 421.721,23 km², contribuindo também nas reduções das taxas de desmatamento, conforme apresenta a Figura 5.

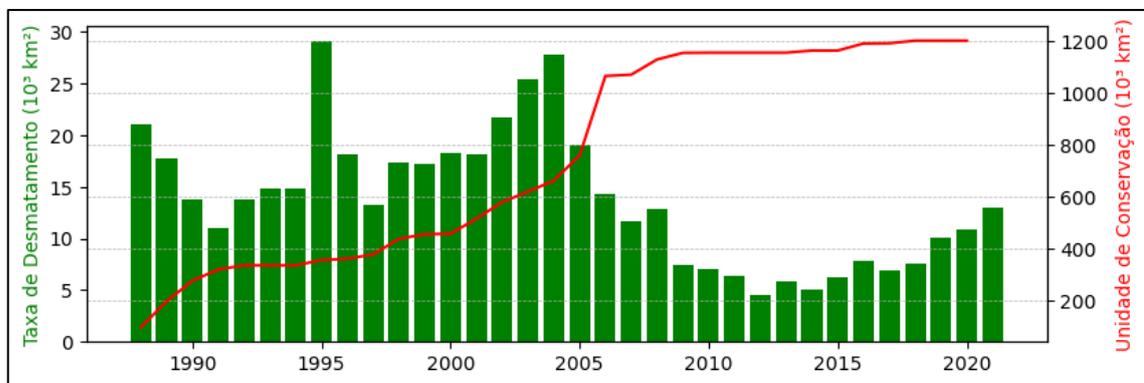


Figura 5: Taxa de Desmatamento e Soma da Área Total de UCs.

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos dos sistemas PRODES-DETER (INPE, 2023).

Durante as três fases do PPCDAm no período de 2004 até 2015, foram criadas mais de 50.000 km² de UCs, e mais de 10.000 km² em áreas indígenas, principalmente em regiões da fronteira agrícola e com alta pressão por desmatamento. Entretanto, Assunção et al., (2013) ressaltam que a introdução do DETER foi a principal medida de desaceleração do desmatamento, pois o sistema funcionou como polo irradiador de ações de fiscalização, realizando processamento de dados para várias localidades ao mesmo tempo e utilizado para diversas finalidades. Possibilitando identificar áreas prioritárias, aplicação de multas e prisão de pessoas que cometeram atos criminosos (Mello & Artaxo, 2017; West & Fearnside, 2021).

Essas ações ocasionaram também uma mudança comportamental em quem executava o desmatamento ilegal, passando a suprimir áreas inferiores a 25 hectares, pois não são detectadas pelo DETER. Já o setor empresarial passou a ter a percepção de que os riscos associados ao desmatamento de grandes áreas, como embargos e multas, tornaram muito mais caros os custos para sua realização (Mello & Artaxo, 2017).

3.2 Análise de Correlação e Validação

Os dados de Desmatamento, Pastagem, Culturas Temporárias, Culturas Perenes, Mineração Industrial, Garimpo e Áreas Urbanas foram organizados em uma matriz de correlações de *Pearson* entre as variáveis que serão investigadas como preditores da taxa anual de desmatamento, conforme apresenta a Figura 6.

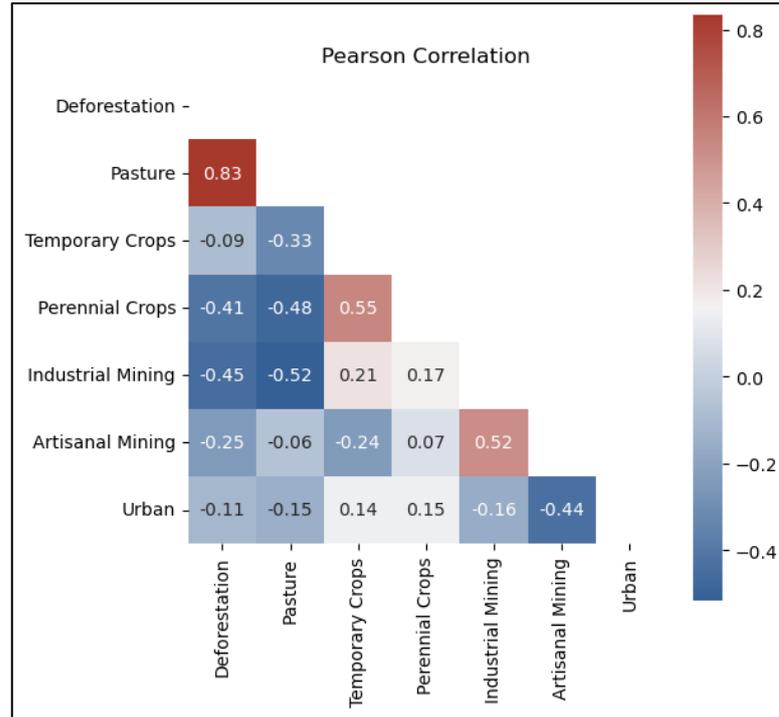


Figura 6: Matriz de correlação entre as variáveis

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos dos sistemas PRODES-DETER (INPE, 2023).

Foi conduzida uma análise de regressão linear múltipla com o objetivo de quebrar as relações entre as variáveis e isolar o impacto de cada uma sobre a variável dependente, que é o Desmatamento. O resultado do modelo de regressão linear múltipla revelou um coeficiente de determinação (R^2) de 71,74%, indicando a proporção da variância nas taxas anuais de desmatamento que pode ser explicada pelas variáveis independentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentro do conjunto culturas temporárias estão incluídas as classes Soja (Figura 7a), e Cana de Açúcar, Arroz, Algodão e Outras Culturas Temporárias (Figura 7b). Entretanto a Soja é a cultura que apresenta a maior contribuição em áreas plantadas, em 2022 essa relação representou cerca de 86,63 % quantitativo total de área do conjunto, conforme apresenta a Figura 7.

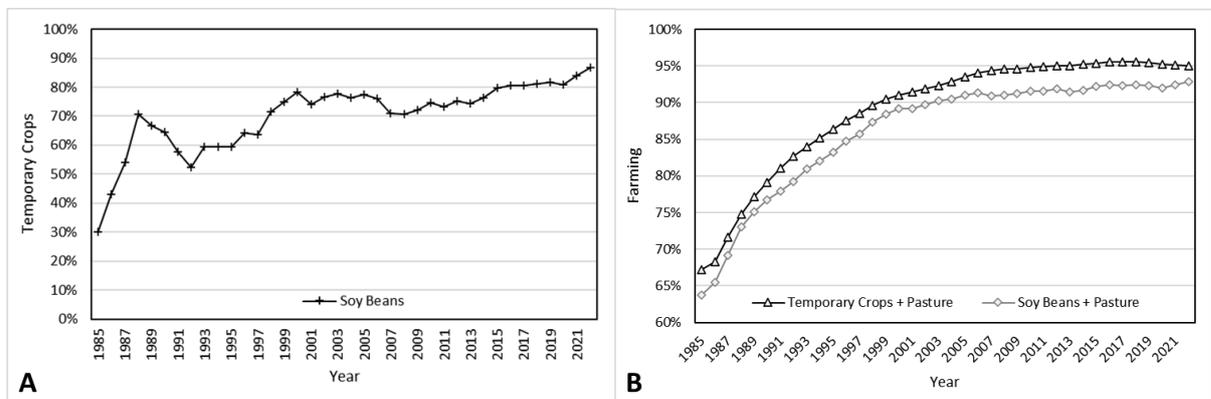


Figura 7: A soja é a cultura que apresenta a maior contribuição em áreas plantadas, em 2022

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos dos sistemas PRODES-DETER (INPE, 2023).



Nos últimos seis anos, o Brasil tem experimentado uma preocupante tendência de alta no desmatamento. Dados de instituições como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2023) e o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON, 2023) mostram um aumento significativo na taxa de desmatamento em várias regiões do país.

Um dos principais biomas afetados é a Amazônia, que historicamente detém uma grande porção da cobertura florestal do Brasil. Entre 2015 e 2020, a taxa de desmatamento na Amazônia legal aumentou de forma alarmante, atingindo níveis recordes em 2019 e 2020. Há várias razões que contribuíram para essa tendência de alta no desmatamento:

- A. **Pressão por recursos naturais:** A busca por madeira, minerais e terras para agricultura, pecuária e expansão urbana tem impulsionado o desmatamento. A exploração ilegal de madeira em áreas protegidas é uma questão particularmente preocupante.
- B. **Expansão agrícola:** O avanço da fronteira agrícola, especialmente para a produção de commodities como soja, milho e carne bovina, é uma das principais causas do desmatamento. A demanda global por esses produtos tem incentivado o desmatamento em áreas de vegetação nativa.
- C. **Fraquezas na fiscalização e governança:** A falta de controle adequado e a impunidade para o desmatamento ilegal têm contribuído para o aumento na prática. A falta de recursos, pessoal e infraestrutura para a fiscalização têm dificultado a prevenção e a punição dos responsáveis.
- D. **Mudanças nas políticas ambientais:** Mudanças nas políticas governamentais podem ter impacto no desmatamento. Flexibilizações nas regulamentações ambientais, como a redução das áreas de preservação e a diminuição das multas por infrações ambientais, podem estimular práticas ilegais.
- E. **Incêndios florestais:** Os incêndios florestais, muitas vezes iniciados intencionalmente para limpar áreas desmatadas, também têm contribuído para a perda de vegetação e o aumento do desmatamento.

Essa tendência de alta no desmatamento tem sérias consequências para o meio ambiente, a biodiversidade e as comunidades locais. A destruição de florestas naturais compromete a regulação do clima, aumenta a emissão de gases de efeito estufa, interferindo nas mudanças climáticas globais. Além disso, afeta negativamente as comunidades indígenas e tradicionais que dependem dos recursos florestais para sua subsistência.

Combater o desmatamento requer um esforço conjunto de governos, sociedade civil, empresariado e comunidades locais. É essencial fortalecer a fiscalização, promover a conscientização sobre a importância da conservação ambiental, investir em alternativas sustentáveis para as atividades econômicas e atualizar e fortalecer a legislação ambiental. Ações como a proteção de áreas protegidas, o fomento à agricultura de baixo carbono e a promoção de cadeias produtivas responsáveis são caminhos importantes para reverter essa tendência e promover um desenvolvimento sustentável.

4.1 Papéis das Instituições Bancárias e Financeiras na Desaceleração do Desmatamento

O papel dos bancos e financeiras na desaceleração do desmatamento é extremamente importante, pois eles têm influência direta sobre as atividades econômicas que envolvem a destruição das florestas.

- A. **Financiamento de atividades de desmatamento:** Bancos e financeiras podem financiar empresas envolvidas em atividades de desmatamento, como agricultura e pecuária intensivas, extração de madeira ou mineração irresponsável. Ao fornecerem recursos financeiros para essas empresas, estão indiretamente contribuindo para o aumento da destruição das florestas.



- B. **Desenvolvimento de políticas de crédito sustentáveis:** Os bancos e financeiras podem adotar políticas mais restritivas em relação à concessão de crédito para empresas envolvidas em atividades relacionadas ao desmatamento. Eles podem exigir que essas empresas demonstrem o cumprimento de critérios ambientais rigorosos antes de concederem empréstimos ou financiamentos.
- C. **Investimento em projetos sustentáveis:** Além de estabelecer políticas restritivas, o papel dos bancos e financeiras na desaceleração do desmatamento é extremamente importante, pois eles têm influência direta sobre as atividades econômicas que envolvem a destruição das florestas.
- D. **Financiamento de atividades de desmatamento:** Bancos e financeiras podem financiar empresas envolvidas em atividades de desmatamento, como agricultura e pecuária intensivas, extração de madeira ou mineração irresponsável. Ao fornecerem recursos financeiros para essas empresas, estão indiretamente contribuindo para o aumento da destruição das florestas.
- E. **Desenvolvimento de políticas de crédito sustentáveis:** Os bancos e financeiras podem adotar políticas mais restritivas em relação à concessão de crédito para empresas envolvidas em atividades relacionadas ao desmatamento. Eles podem exigir que essas empresas demonstrem o cumprimento de critérios ambientais rigorosos antes de concederem empréstimos ou financiamentos.
- F. **Investimento em projetos sustentáveis:** Além de estabelecer políticas restritivas, bancos e financeiras podem direcionar seus investimentos para projetos sustentáveis, que promovam a conservação das florestas e a utilização responsável dos recursos naturais. Isso inclui investir em empresas que adotam práticas de agricultura e pecuária sustentáveis, promovem a recuperação de áreas desmatadas e desenvolvem tecnologias mais eficientes e menos impactantes ambientalmente.
- G. **Incentivo a políticas de governança e regulamentação:** Bancos e financeiras têm voz e influência significativa junto aos governos e instituições financeiras internacionais. Eles podem utilizar essa influência para defender políticas de governança eficazes e regulamentações mais rigorosas relacionadas ao desmatamento. Podem também apoiar iniciativas de governos e organizações da sociedade civil que buscam combater o desmatamento e promover a conservação das florestas.
- H. **Transparência e divulgação de informações:** Bancos e financeiras podem adotar práticas de transparência e divulgar informações sobre suas políticas, práticas e impactos ambientais. Isso permite que os consumidores e a sociedade em geral possam tomar decisões informadas sobre onde investir ou se associar a essas instituições financeiras.

Em resumo, os bancos e financeiras têm a responsabilidade de utilizar seus recursos e influência para desacelerar o desmatamento. Isso pode ser feito por meio da implementação de políticas de crédito sustentáveis, investimento em projetos sustentáveis, apoio a políticas de governança e regulamentação, e divulgação transparente de informações.

4.2 Relação do Desmatamento na Amazônia Legal com o código Florestal de 2008

O código florestal de 2008, também conhecido como Lei Federal nº 12.651 (BRASIL, 2012), teve um impacto significativo no uso e conservação dos recursos naturais no Brasil. Entre os principais pontos de impacto do código florestal de 2008, podemos destacar:

- A. **Regularização ambiental:** O código florestal estabeleceu critérios para a regularização ambiental de propriedades rurais, exigindo que os proprietários façam ações de recuperação de áreas degradadas e de reserva legal, além de implementarem o Cadastro Ambiental Rural (CAR).



- B. **APPs (Áreas de Preservação Permanente):** O código florestal definiu regras específicas para a proteção das APPs, que são áreas consideradas de alta sensibilidade ambiental, como margens de rios, encostas e topos de morros. A lei estabeleceu a obrigação de preservação dessas áreas, proibindo sua supressão.
- C. **Reservas legais:** O código florestal determinou que as propriedades rurais devem manter uma porcentagem de sua área preservada como reserva legal, que varia conforme o bioma em que se encontram. Essa medida visa garantir a proteção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.
- D. **Desmatamento ilegal:** O código florestal estabeleceu sanções e penalidades para o desmatamento ilegal, como multas e restrições no acesso a crédito rural. Além disso, a lei estabeleceu prazos para a regularização ambiental das propriedades rurais, visando coibir a prática do desmatamento.
- E. **Conservação da biodiversidade:** O código florestal também teve um impacto positivo na conservação da biodiversidade, promovendo a proteção dos ecossistemas naturais. A manutenção de áreas de reserva legal e de APPs contribuiu para a preservação de espécies vegetais e animais e para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, como a regulação do clima e o abastecimento de água.
- F. **Conflitos fundiários e agricultura familiar:** O código florestal também gerou alguns conflitos fundiários e desafios para a agricultura familiar, que muitas vezes têm dificuldades em cumprir as exigências legais. A implementação de programas e políticas públicas que auxiliem na regularização ambiental e na adequação das atividades produtivas é importante para mitigar esses impactos.

Em resumo, o código florestal de 2008 teve um impacto significativo na proteção e conservação do meio ambiente no Brasil, promovendo a regularização ambiental de propriedades rurais, a preservação de áreas sensíveis, a conservação da biodiversidade e a coibição do desmatamento ilegal. No entanto, há desafios a serem superados na implementação da lei, especialmente relacionados a conflitos fundiários e à adequação das atividades produtivas.

4.3 Visão Qualitativa sobre as Series Temporais no Desmatamento da Amazônia

Neste estudo, a análise de séries temporais emerge como uma ferramenta valiosa, permitindo uma investigação aprofundada sobre os padrões temporais do desmatamento na região da Amazônia Legal. Os resultados revelam que, entre diversas atividades, o garimpo e a cultura de soja destacam-se como os principais impulsionadores do desmatamento.

A prática do garimpo, caracterizada pela extração de minerais preciosos, tem demonstrado ser uma força significativa por trás da perda de cobertura florestal na Amazônia Legal. Da mesma forma, a expansão da cultura de soja surge como um fator relevante, impulsionando a conversão de áreas florestais em terras agrícolas.

A complexidade dessa dinâmica requer uma abordagem multifacetada para a compreensão completa das causas subjacentes ao desmatamento. Fatores econômicos, políticos e sociais estão entrelaçados nesse cenário, exigindo estratégias de conservação e políticas públicas que considerem essa interconexão.

O reconhecimento dessas atividades como principais contribuintes ao desmatamento na Amazônia Legal destaca a urgência de implementar medidas eficazes de mitigação. A compreensão detalhada desses fatores impulsionadores, obtida por meio da análise de séries temporais, fornece a base necessária para desenvolver estratégias sustentáveis, conciliando o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. Essa abordagem visa assegurar a conservação desse ecossistema vital para as gerações presentes e futuras.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo delineou a relevância crucial da análise temporal do desmatamento na Amazônia Legal como uma etapa vital na busca por soluções eficazes de mitigação e contenção desse fenômeno na região. Ao longo dessa exploração, tornou-se evidente que as atividades de garimpo e o cultivo de soja desempenham papéis proeminentes como catalisadores primários do desmatamento na Amazônia Legal.

Além de oferecer percepções (*insights*) fundamentais sobre os fatores impulsionadores do desmatamento, é imperativo destacar a significância de conter esse processo não apenas para a preservação local da biodiversidade e da floresta tropical, mas também para a mitigação das mudanças climáticas em nível global. A Amazônia atua como um componente crítico na regulação climática, servindo como um sumidouro vital de carbono que estabiliza padrões climáticos e reduz as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono.

Assim, medidas eficazes de contenção do desmatamento não são apenas essenciais para proteger a Amazônia, mas também para desempenhar um papel significativo na redução das mudanças climáticas globais. Os impactos nefastos das atividades humanas, como o garimpo e o cultivo de soja, transcendem as fronteiras amazônicas, influenciando padrões climáticos, elevando temperaturas globais e intensificando fenômenos climáticos extremos.

Portanto, a contenção do desmatamento na Amazônia Legal não é apenas uma responsabilidade do Brasil, mas uma obrigação global. A preservação da floresta amazônica e a redução de atividades destrutivas não apenas resguardam um dos ecossistemas mais diversos do mundo, mas também contribuem diretamente para a estabilidade climática global. É imperativo que governos, organizações não governamentais e a sociedade civil se unam para desenvolver estratégias que promovam a coexistência harmoniosa entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental na Amazônia, visando a um futuro mais sustentável e resiliente para a humanidade.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA SENADO. (2023, outubro 11). Amazônia sofre com devastação e extrema alteração climática. Senado Federal. <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2023/10/amazonia-sofre-com-devastacao-e-extrema-alteracao-climatica>

Alencar. (2004, abril 17). Desmatamento na Amazônia: Indo Além da “Emergência Crônica”. IPAM Amazônia. <https://ipam.org.br/bibliotecas/desmatamento-na-amazonia-indo-alem-da-emergencia-cronica/>

Assunção, J., Gandour, C., & Rocha, R. (2023). DETER-ing Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement. *American Economic Journal: Applied Economics*, 15(2), 125–156. <https://doi.org/10.1257/app.20200196>

BRASIL. (2012). LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm

Bryce, E. (2023, fevereiro). Why Is the Amazon So Important for Climate Change? *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/why-is-the-amazon-so-important-for-climate-change1/>

Domingues, M. S., & Bermann, C. (2012). O arco de desflorestamento na Amazônia: Da pecuária à soja. *Ambiente & Sociedade*, 15, 1–22. <https://doi.org/10.1590/S1414->



753X2012000200002

Fearnside, P. M. (2022a). Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências. Em *DESTRUIÇÃO E CONSERVAÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA* (1^o ed). INPA.

Fearnside, P. M. (2022b). *DESTRUIÇÃO E CONSERVAÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA*. INPA.

Fearnside, P. M. (2022c). Questões de posse da terra como fatores na destruição ambiental na Amazônia brasileira: O caso do sul do Pará. Em *DESTRUIÇÃO E CONSERVAÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA* (1^o ed). INPA.

IBGE. (2022). IBGE – Agricultura, pecuária e outros. IBGE. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>

IMAZON. (2023). Imazon – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Imazon. <https://imazon.org.br/>

INPE. (2023). PRODES — Coordenação-Geral de Observação da Terra. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>

Kintisch, E. (2007). Carbon emissions. Improved monitoring of rainforests helps pierce haze of deforestation. *Science* (New York, N.Y.), 316(5824), 536–537. <https://doi.org/10.1126/science.316.5824.536>

Laurance, W. F., Albernaz, A. K. M., Fearnside, P. M., Vasconcelos, H. L., & Ferreira, L. V. (2004). Deforestation in Amazonia. *Science*, 304(5674), 1109–1111. <https://doi.org/10.1126/science.304.5674.1109b>

Lélis, M. T. C., Cunha, A. M., & Linck, P. (2019). O choque nos preços das commodities e a economia brasileira nos anos 2000. *Brazilian Journal of Political Economy*, 39, 427–448. <https://doi.org/10.1590/0101-35172019-2968>

Mello, N. G. R. de, & Artaxo, P. (2017). Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. *Revista do Instituto de Estudos Brasileiros*, 108–129. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i66p108-129>

Messias, C. G., Silva, D. E., Da Silva, M. B., De Lima, T. C., & De Almeida, C. A. (2021). ANÁLISE DAS TAXAS DE DESMATAMENTO E SEUS FATORES ASSOCIADOS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA NAS ÚLTIMAS TRÊS DÉCADAS. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, 52, 18. <https://doi.org/10.5380/raega.v52i0.74087>

MMA. (2017). PPCDam. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/prevencao-e-controle-do-desmatamento/amazonia-ppcdam-1/ppcdam>

MPF. (2022). Por quê? —Amazônia Protege. <http://amazoniaprotege.mpf.mp.br/o-projeto/por-que>

Oliveira, A. F. de, Oliveira, H. M., Chaveiro, E. F., & Barreira, C. C. (2021). A AMAZÔNIA LEGAL E OS CONTORNOS DA FRONTEIRA CAPITALISTA NO SÉCULO XXI. *ACTA*



GEOGRÁFICA, 15(37), Artigo 37. <https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v15i37.5838>

Ribeiro, H. de S., & Marzari, M. (2020). GEOPOLÍTICA PARA AMAZÔNIA: Políticas territoriais e expansão do agronegócio. *Revista Georaguaia*, 10(1), Artigo 1.

SEEG. (2023). MapBiomas Brasil. <https://brasil.mapbiomas.org/>

Shukla, J., Nobre, C., & Sellers, P. (1990). Amazon Deforestation and Climate Change. *Science*, 247(4948), 1322–1325. <https://doi.org/10.1126/science.247.4948.1322>

West, T. A. P., & Fearnside, P. M. (2021). Brazil's conservation reform and the reduction of deforestation in Amazonia. *Land Use Policy*, 100, 105072. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105072>

ARTIGO 3

**(RUMO A SUSTENTABILIDADE DA
AMAZÔNIA: UMA ANÁLISE E ABORDAGEM
SISTÊMICA E PROPOSTAS PARA
COMBATER O DESMATAMENTO)**



RUMO À SUSTENTABILIDADE DA AMAZÔNIA: UMA ANÁLISE E ABORDAGEM SISTÊMICA E PROPOSTAS PARA COMBATER O DESMATAMENTO

José Maria da Silveira Gomes¹
Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo²
Caio Castro Rodrigues³
Gledson Luiz Salgado de Castro⁴
Alex de Jesus Zissou⁵
Edson do Socorro Silva Andrade⁶
Emerson Cordeiro Morais⁷
Pedro Silvestre da Silva Campos⁸
José Felipe Souza de Almeida⁹
Paulo Roberto Silva Farias¹⁰
Otavio Andre Chase¹¹

RESUMO

Objetivo: O objetivo desta pesquisa é realizar uma revisão abrangente da literatura, focalizando no período de 1988 a 2022, para analisar sistemicamente as principais atividades antrópicas responsáveis pelo desmatamento na Amazônia Legal do Brasil.

Referencial teórico: O referencial teórico desta pesquisa se baseia na literatura existente sobre o desmatamento na Amazônia, abrangendo conceitos relacionados a atividades antrópicas, impactos ambientais, e políticas de conservação.

Método: O método empregado consiste em uma análise minuciosa das principais plataformas de publicações científicas e bases de dados para compilar informações relevantes sobre o desmatamento na Amazônia Legal. Além disso, a pesquisa utiliza uma análise sistêmica para avaliar o futuro do desmatamento.

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: silveira.gomes@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-5177-536X>

² Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. E-mail: lff@cce.ufsc.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3327-9170>

³ Instituto Tecnológico Vale (ITV), Belém, Pará, Brasil. E-mail: caiocastro.eng@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9147-8162>

⁴ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: gledson.castro@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3126-6720>

⁵ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: alex.zissou@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4519-3259>

⁶ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: edson.andrade@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4519-3259>

⁷ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: emerson.morais@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-2771-9014>

⁸ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: pedro.campos@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8476-5569>

⁹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: felipe.almeida@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7732-6955>

¹⁰ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: paulo.farias@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9212-8957>

¹¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: otavio.chase@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0246-8339>



Resultados e Conclusão: Os resultados destacam as áreas críticas de desmatamento na região, identificando a agropecuária extensiva e a mineração ilegal como fatores predominantes. A análise temporal projeta o aumento do desmatamento se essas atividades persistirem. As alternativas propostas incluem modelos de agricultura sustentável, com ênfase na preservação da agrobiodiversidade. A pesquisa conclui destacando a necessidade urgente de políticas públicas mais eficazes, especialmente no setor da mineração ilegal.

Implicações da Pesquisa: As implicações desta pesquisa abordam a urgência de medidas para enfrentar o desmatamento na Amazônia Legal, incluindo a promoção de práticas agrícolas sustentáveis. Além disso, destaca a necessidade de políticas públicas mais efetivas, especialmente em relação à mineração ilegal, reconhecida como uma atividade de alto impacto.

Originalidade/Valor: A originalidade desta pesquisa reside na sua abordagem abrangente, integrando uma revisão da literatura com uma análise temporal, e propondo soluções sustentáveis. Contribui para a compreensão dos desafios enfrentados na Amazônia Legal, apresentando direções viáveis para conservação e gestão sustentável, enfatizando a importância de políticas públicas abrangentes e eficazes.

Palavras-chave: Amazônia Legal, Desmatamento, Visão Sistêmica, Sustentabilidade.

HEADING FOR SUSTAINABILITY IN THE AMAZON: A SYSTEMIC APPROACH AND PROPOSALS TO COMBAT DEFORESTATION

ABSTRACT

Objective: The objective of this research is to carry out a comprehensive literature review, focusing on the period from 1988 to 2022, to systematically analyze the main anthropogenic activities responsible for deforestation in the Brazilian Legal Amazon.

Theoretical Reference: The theoretical framework of this research is based on the existing literature on deforestation in the Amazon, covering concepts related to anthropogenic activities, environmental impacts and conservation policies.

Methodology: The method employed consists of a thorough analysis of the main scientific publication platforms and databases to compile relevant information on deforestation in the Legal Amazon. In addition, the research uses a systemic analysis to assess the future of deforestation.

Results and Conclusion: The results highlight the critical areas of deforestation in the region, identifying extensive farming and illegal mining as the predominant factors. The temporal analysis projects an increase in deforestation if these activities persist. The alternatives proposed include models of sustainable agriculture, with an emphasis on preserving agrobiodiversity. The research concludes by highlighting the urgent need for more effective public policies, especially in the illegal mining sector.

Research Implications: The implications of this research address the urgency of measures to tackle deforestation in the Legal Amazon, including the promotion of sustainable agricultural practices. It also highlights the need for more effective public policies, especially in relation to illegal mining, which is recognized as a high-impact activity.

Originality/Value: The originality of this research lies in its comprehensive approach, integrating a literature review with a temporal analysis, and proposing sustainable solutions. It contributes to understanding the challenges faced in the Legal Amazon, presenting viable directions for conservation and sustainable management, emphasizing the importance of comprehensive and effective public policies.

Keywords: Legal Amazon, Deforestation, Systemic Vision, Sustainability.



RUMBO A LA SOSTENIBILIDAD EN LA AMAZONÍA: UN ENFOQUE SISTÉMICO Y PROPUESTAS PARA COMBATIR LA DEFORESTACIÓN

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de esta investigación es realizar una revisión exhaustiva de la literatura, centrándose en el período de 1988 a 2022, para analizar sistemáticamente las principales actividades antropogénicas responsables de la deforestación en la Amazonía Legal brasileña.

Referencia Teórica: El marco teórico de esta investigación se basa en la literatura existente sobre deforestación en la Amazonía, abarcando conceptos relacionados con actividades antropogénicas, impactos ambientales y políticas de conservación.

Metodología: El método empleado consiste en un análisis exhaustivo de las principales plataformas de publicaciones científicas y bases de datos para recopilar información relevante sobre la deforestación en la Amazonía Legal. Además, la investigación utiliza un análisis sistémico para evaluar el futuro de la deforestación.

Resultados y Conclusión: Los resultados resaltan las áreas críticas de deforestación en la región, identificando la agricultura extensiva y la minería ilegal como los factores predominantes. El análisis temporal proyecta un aumento de la deforestación si estas actividades persisten. Las alternativas propuestas incluyen modelos de agricultura sostenible, con énfasis en la preservación de la agrobiodiversidad. La investigación concluye destacando la urgente necesidad de políticas públicas más efectivas, especialmente en el sector de la minería ilegal.

Implicaciones de la Investigación: Las implicaciones de esta investigación abordan la urgencia de medidas para abordar la deforestación en la Amazonía Legal, incluida la promoción de prácticas agrícolas sostenibles. También resalta la necesidad de políticas públicas más efectivas, especialmente en relación con la minería ilegal, que es reconocida como una actividad de alto impacto.

Originalidad/Valor: La originalidad de esta investigación radica en su enfoque integral, integrando una revisión de la literatura con un análisis temporal y proponiendo soluciones sostenibles. Contribuye a comprender los desafíos que enfrenta la Amazonía Legal, presentando direcciones viables para la conservación y el manejo sostenible, enfatizando la importancia de políticas públicas integrales y efectivas.

Palabras clave: Amazonía Legal, Deforestación, Visión Sistémica, Sostenibilidad.

RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1 INTRODUÇÃO

A Amazônia, uma região de notoriedade global, é dotada de uma biodiversidade única e desempenha um papel singular no contexto ambiental (Alfaro, 2014; Ellwanger et al., 2020; Rodrigues, 1989). Embora essa região seja rica em potencial, há ainda muito a ser explorado e otimizado em seu vasto patrimônio (Trindade et al., 2022).

Contudo, nas últimas décadas, essa região tem enfrentado desafios decorrentes de diversas atividades antrópicas, incluindo a expansão desordenada da agropecuária, exploração madeireira, mineração ilegal, entre outras (Castro & Pinto, 2018; Gomes et al., 2019). O avanço alarmante do desmatamento nos últimos anos suscita perspectivas preocupantes (Galúcio &



Prudente, 2019). Sem medidas diretas até 2050, a floresta amazônica corre o risco de alcançar um ponto de declínio irreversível (Gomes et al., 2019).

Recentemente, observou-se um aumento na conscientização sobre a importância da preservação ambiental da Amazônia e na necessidade urgente de combater eficazmente o desmatamento na região (Waroux et al., 2019). Inúmeras motivações legais e sociais ressaltam a importância de garantir a manutenção da floresta e a utilização equilibrada de seus recursos, princípios assegurados na atual Constituição Federativa do país (Brasil, 1988).

No entanto, as ações advindas dessas políticas públicas têm tido resultados limitados, com o desmatamento persistindo como uma ameaça significativa para a Amazônia no Brasil (Carvalho et al., 2019). O emprego de técnicas modernas, como estudos de bancos de dados e análise de séries temporais, mostra-se crucial para compreender e buscar soluções para questões ambientais, representando uma alternativa viável para auxiliar na preservação da Amazônia no Brasil (Santos et al., 2020; Zissou et al., 2020).

Diante desse cenário, o presente trabalho se propõe a realizar uma análise sistêmica, a partir da revisão abrangente de dados e literatura sobre o desmatamento na Amazônia do Brasil, no período significativo compreendido entre a promulgação da atual Constituição Federativa em 1988 e o ano de 2022. O objetivo é analisar sistemicamente as principais atividades antrópicas que contribuem para o desmatamento, considerando os contextos locais, a fim de destacar áreas e pontos específicos prioritários para ações de preservação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A região conhecida como Amazônia do Brasil, ou Amazônia Legal, como ilustrado na Figura 1, abarca uma extensão de 5.217.423 km², representando aproximadamente 61% do território brasileiro (Brasil, 2007b). Conforme mencionado anteriormente, essa vasta área compreende nove estados brasileiros: Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins (Brasil, 2007ab).



Figura 1

Mapa de Localização da Amazônia Legal.



Fonte: Elaboração própria, dados obtidos da coleção MAPBIOMAS 8.0 (SEEG, 2023).

2.1 COLETA E CURADORIA DE DADOS DO DESMATAMENTO

Esta pesquisa científica teve como objetivo analisar dados recentes, empregando consultas em bases digitais com um intervalo definido entre os anos de 1988 e 2022. Além disso, foram adquiridos dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) do Governo do Brasil. Os procedimentos adotados seguiram



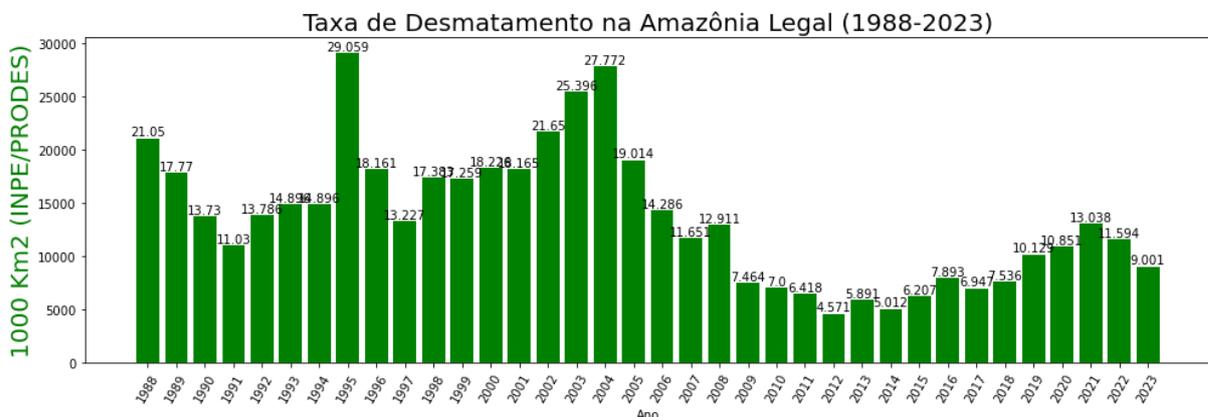
metodologias consagradas em estudos de bancos de dados (Bittencourt & Paula, 2012; Gomes et al., 2018; Sombra et al., 2020; Trindade et al., 2022; Zissou et al., 2021).

Uma curadoria de dados foi realizada em linguagem de programação *Python* para assegurar a qualidade das informações neste estudo. A curadoria digital é crucial para garantir a integridade e a preservação de dados em pesquisas, especialmente em um contexto de crescente dependência de tecnologias digitais (Sayão & Sales, 2012). Ela abrange a gestão de dados desde a coleta até a preservação a longo prazo, visando garantir sua confiabilidade e utilidade. Nesse contexto, esta pesquisa busca sistematizar e disponibilizar dados sobre o desmatamento na Amazônia do Brasil.

Ao explorar o desmatamento na Amazônia do Brasil por meio dos dados fornecidos pelo PRODES, observa-se variações significativas nas taxas ao longo do período de 1988 a 2023, conforme apresenta a Figura 2.

Figura 2

Taxas de desmatamento na Amazônia Legal, de 1988 até 2023



Fonte: Elaboração própria, dados obtidos do sistema PRODES (PRODES, 2024).

Além disso, é evidente que, desde o início desta série histórica expressa em Km², houve uma diminuição nas taxas de desmatamento na Amazônia do Brasil nos últimos anos, especialmente a partir da segunda metade da década dos anos 2000 (a partir de 2005). Inicialmente, as taxas eram da ordem de 21.000 Km² em 1988, mas a partir de 2005, mantiveram-se consistentemente abaixo dos 20.000 Km², apresentando variações, e atingindo seu valor mínimo em 2012, com a taxa expressa em cerca de 4.600 Km². Em 2023, a taxa de desmatamento foi de 9.001 Km², menor valor desde 2019.

Em resumo, nos últimos anos, o desmatamento na Amazônia do Brasil reduziu significativamente, registrando uma diminuição de quase 10.000 Km², passando de 21.100 Km²



no início da série em 1988 para cerca de 11.600 km² em 2022, uma queda de aproximadamente 45%. Contudo, é claro que esses valores ainda não são considerados aceitáveis em termos de preservação ambiental de um bioma tão crucial como a Amazônia. Desejavelmente, as taxas devem declinar ainda mais, idealmente aproximando-se de valores próximos a zero. A percepção das taxas de desmatamento se torna mais evidente, com valor acumulado de desmatamento, que continua a evoluir desde 1988 a 2023, conforme apresenta a Figura 3.

Figura 3

Acumulado de desmatamento na Amazônia Legal, de 1988 até 2023



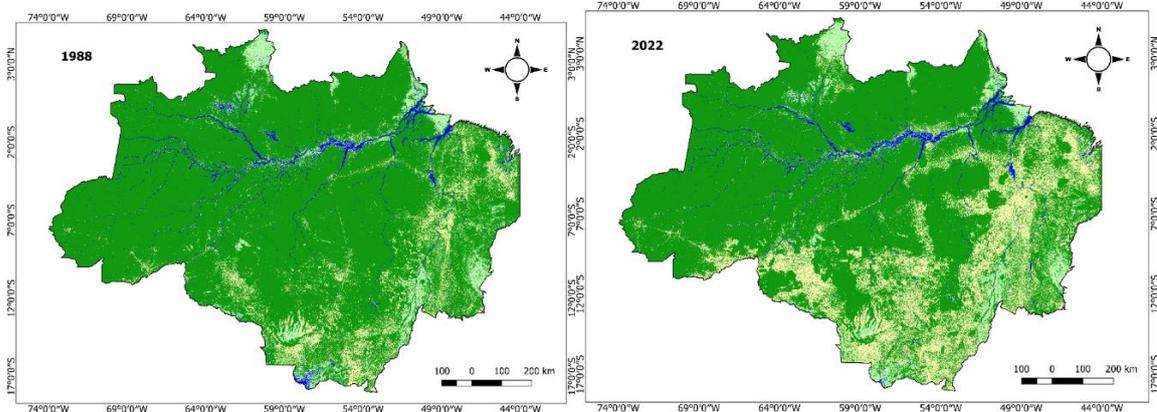
Fonte: Elaboração própria, dados obtidos do sistema PRODES (PRODES, 2024).

Desde o final do século XX até o início do século XXI, a Amazônia tem sido palco de uma série de transformações sociais e econômicas significativas, impulsionadas em grande parte por políticas de ocupação territorial fomentadas pelo governo brasileiro. Essas políticas, inicialmente concebidas para promover o desenvolvimento econômico e a integração nacional, incentivaram intensos fluxos migratórios para a região, tradicionalmente vista como um "vazio demográfico" (Hogan, 1997). A consequência foi uma expansão acelerada da fronteira agrícola e um aumento substancial no desmatamento, com mais de 490.870 Km² de floresta amazônica perdidos entre 1988 e 2023, conforme indicado nas análises de dados representadas nas Figuras 2 e 3. A Figura 4 apresenta um comparativo entre a área desmatada em 1988 (21.050 Km²) e em 2022 (481.869 Km²) na Amazônia Legal.



Figura 4

Comparativo entre a área desmatada em 1988(a) e 2022(b) na Amazônia Legal -



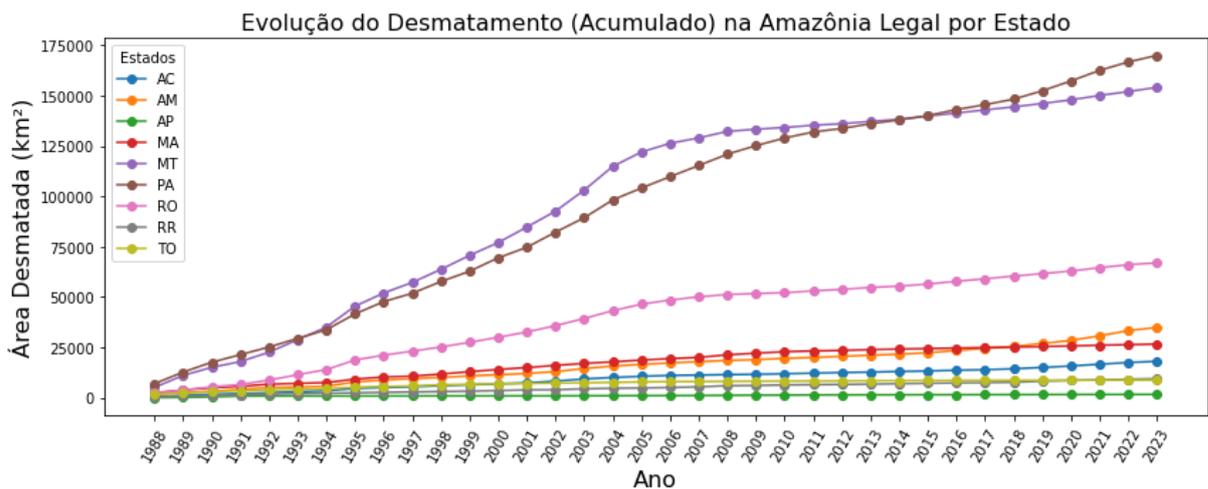
(a) Área desmatada da Amazônia Legal em 1988: 21.050 Km²

(b) Área desmatada da Amazônia Legal em 2022: 481.869 Km²

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos da coleção MAPBIOMAS 8.0 (SEEG, 2023).

Figura 5

Acumulado de desmatamento na Amazônia Legal, de 1988 até 2023



Fonte: Elaboração própria, dados obtidos do sistema PRODES (PRODES, 2024).

Observa-se que os estados do Pará e Mato Grosso têm se alternado na liderança, apresentando as maiores taxas de desmatamento desde o início da série analisada (1988-2023). Juntamente com o Amazonas, que ganhou destaque nos últimos anos, esses estados correspondem aos maiores da região e do Brasil. Essas taxas elevadas refletem fatores geográficos, sociais e políticos específicos de cada estado. A Tabela 1 apresenta um ranking de desmatamento pelos estados da Amazônia Legal.



Tabela 1

Ranking de desmatamento por estados da Amazônia Legal

Ranking	Estado	Acumulado de Desmatamento (1988 a 2023)	Percentual de Desmatamento
1°	PA	170046 Km ²	34,6%
2°	MT	154164 Km ²	31,4%
3°	RO	66976 Km ²	13,6%
4°	AM	34937 Km ²	7,1%
5°	MA	26659 Km ²	5,4%
6°	AC	18105 Km ²	3,6%
7°	RR	9485 Km ²	1,9%
8°	TO	8816 Km ²	1,7%
9°	AP	1682 Km ²	0,3%
	TOTAL	490.870 Km ²	100%

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos do sistema PRODES (PRODES, 2024)

Na Tabela 1 é notável que os estados do Pará e Mato Grosso são responsáveis por 66% do desmatamento na Amazônia Legal. Esses estados, assim como os demais na Amazônia do Brasil, experimentaram consideráveis crescimentos populacionais nos últimos anos (IBGE, 2023) e investimentos nas áreas de mineração e agropecuária. A relação entre a diminuição das áreas de florestas nativas e o aumento populacional destaca a complexidade da região amazônica, não apenas como um ecossistema rico, mas também como lar de populações humanas. Estudos desse tipo devem considerar esses fatores antropogênicos necessariamente.

Quanto aos estados com menores índices de desmatamento, Amapá, Roraima e Tocantins se destacam, cada um com taxas inferiores a 2%. Essa preservação é resultado de fatores como movimentos populacionais mais recentes, uma vez que esses estados são mais recentes em termos de criação no Brasil. Suas áreas ainda são preservadas, em parte, devido à reduzida população e ações antropogênicas limitadas. Políticas locais eficazes de preservação ambiental também contribuíram para a manutenção dessas áreas.

Os resultados indicam uma redução de atividades intensivas e prejudiciais na região, evidenciando que práticas tradicionalmente consideradas prejudiciais, como a agropecuária, têm evoluído ao longo do tempo, assumindo configurações menos agressivas. Atividades como a integração entre lavoura, agropecuária e floresta (ILPF) têm se tornado mais comuns.

No contexto da agropecuária, surge a necessidade de utilizar os recursos de forma sustentável, destacando a importância da agrobiodiversidade, que se refere à riqueza da biodiversidade presente em sistemas agrícolas (Santilli, 2009; Frausin et al., 2020). A adoção de técnicas agrícolas modernas, como o consórcio de atividades de agropecuária com a preservação ambiental, emerge como uma solução para a produção de insumos e o bem-estar das populações locais, regionais e globais (CONAB, 2007).



É crucial salientar que a agricultura ou agronegócio não são as atividades mais danosas na região, comparadas a outras, como garimpos ilegais (Mataveli et al., 2023). Atualmente, a agricultura na região busca ser sustentável, adotando modelos menos prejudiciais, tornando-se uma fonte importante de renda e desenvolvimento. Quando gerida adequadamente, pode ser uma aliada do desenvolvimento e da preservação na região (Martorano, 2016).

Os dados apresentados contribuem significativamente para um melhor entendimento do desmatamento e da agrobiodiversidade na região amazônica. De acordo com Trindade et al. (2022), estudos que proporcionam bancos de dados são fundamentais para a compreensão dessas e de outras questões na região e no país.

2.2 FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DOS DADOS

Diante do exposto, uma análise preditiva dos dados de desmatamento apresentados foi feita com o pacote *Prophet* para análise de séries temporais, cujo objetivo é estimar o avanço do desmatamento na Amazônia Legal até o ano de 2050. O *Prophet*, desenvolvido pelo time de pesquisa do Facebook, é especialmente adequado para prever tendências de dados, o que o torna ideal para analisar e projetar o desmatamento, um fenômeno influenciado por variáveis econômicas, políticas e sociais sazonais. O pacote está disponível nas linguagens de programação *Python* e *R* (Taylor & Letha, 2023).

O Pacote *Prophet* opera com base em um modelo aditivo decomponível para previsão de séries temporais, onde a modelagem é feita considerando que os dados observados podem ser explicados pela soma de várias componentes, incluindo tendências, sazonalidades e feriados ou eventos especiais. Matematicamente, o modelo pode ser descrito como:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon t \quad (1)$$

Sendo:

$y(t)$ representa a previsão para o instante t ,

$g(t)$ é a função de tendência que modela as mudanças não periódicas nos dados,

$s(t)$ representa as mudanças periódicas (sazonalidade),

$h(t)$ abrange os efeitos de feriados ou eventos específicos, e

ϵt é o erro do modelo, assumindo ser um ruído normalmente distribuído.



A componente de tendência, $g(t)$, geralmente é modelada usando funções de crescimento linear ou logístico, permitindo que o *Prophet* se ajuste a diferentes padrões de crescimento dos dados ao longo do tempo. Para a sazonalidade, $s(t)$, o *Prophet* utiliza a transformação de Fourier para capturar padrões sazonais em múltiplas escalas de tempo, o que é particularmente útil para dados com múltiplas frequências sazonais. A componente $h(t)$, por sua vez, é modelada adicionando um efeito específico para cada feriado ou evento, permitindo que o modelo capture impactos pontuais que essas ocasiões podem ter nos dados.

Além disso, o *Prophet* facilita a inclusão de termos de mudança de regime (*changepoints*) na função de tendência, permitindo ao modelo se adaptar a mudanças abruptas na trajetória dos dados. Essa flexibilidade é crucial para modelar séries temporais de plataformas de mensageria, onde eventos inesperados podem causar variações significativas no volume de mensagens. A combinação dessas características faz do *Prophet* uma ferramenta poderosa e flexível para a previsão de séries temporais, capaz de ajustar-se e prever dinâmicas complexas em dados temporais, como a dinâmica do desmatamento.

Para entender as dinâmicas do desmatamento na Amazônia Legal, foi crucial analisar como diferentes atividades econômicas influenciam a perda de cobertura florestal. Entre essas atividades, o crescimento do rebanho bovino, a expansão das áreas de pastagem, o cultivo de soja e a mineração são frequentemente citados como principais vetores de desmatamento da Amazônia Legal. Para investigar as relações entre esses fatores e o desmatamento, análises de correlação, especificamente utilizando o coeficiente de Pearson, foram empregadas. O uso do coeficiente de correlação de Pearson, ao analisar os vetores de desmatamento na Amazônia Legal, oferece insights valiosos para a compreensão e o combate ao desmatamento, destacando a importância de abordagens integradas que considerem a complexidade das interações entre atividades humanas e o meio ambiente.

A partir dos dados de desmatamento e análise preditiva é possível ter uma visão do todo em uma perspectiva sistêmica que englobe os domínios ambiental, econômico e social em suas análises e soluções propostas no declínio da taxa de desmatamento. A análise sistêmica permite identificar e entender as conexões e feedbacks entre diferentes componentes do sistema Amazônia. Por exemplo, o desmatamento não é apenas uma questão ambiental; ele está profundamente entrelaçado com fatores econômicos, como a demanda por terras para agricultura e pecuária, e com aspectos sociais, incluindo a pobreza, a desigualdade e a governança. Assim, intervenções que visam somente o aspecto ambiental, sem considerar as dimensões econômica e social, estão fadadas ao fracasso ou a gerar consequências não intencionais.

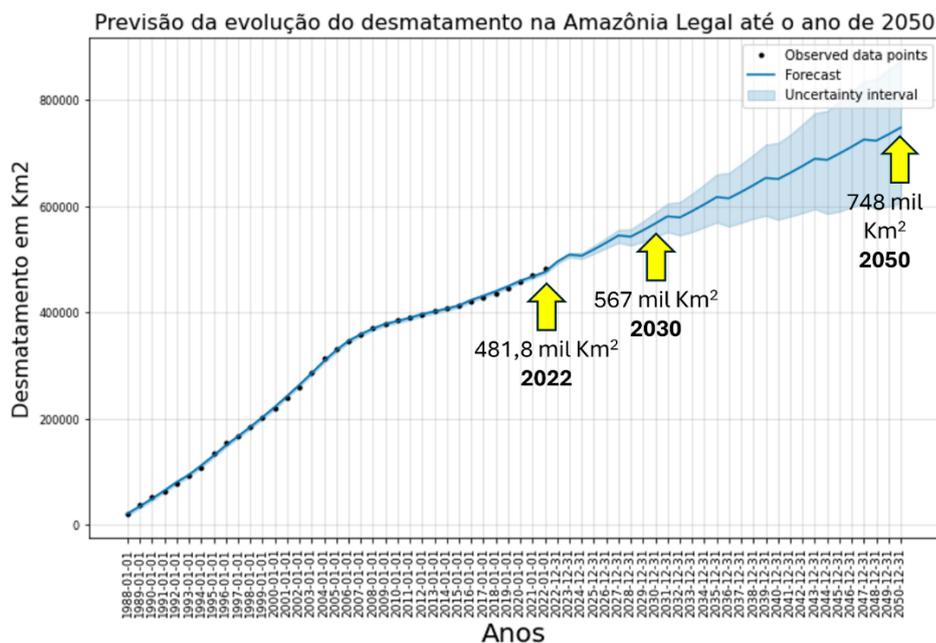


3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da curadoria dos dados, uma previsão do desmatamento na Amazônia Legal até o ano de 2050 foi realizada, através do pacote de série temporal *Prophet*, conforme apresenta a Figura 6.

Figura 6

Predição do avanço da área desmatada na Amazônia Legal, até o ano de 2050



Fonte: Elaboração própria, dados obtidos do sistema PRODES (PRODES, 2024).

Mesmo com uma queda de 45% nas taxas de desmatamento na década de 2010, conforme apresentado na Figura 2, se as taxas permanecerem na faixa entre 10 mil Km² e 20 mil Km² ao ano, a previsão é que em 2030 a área desmatada seja aproximadamente de 567 mil Km² e em 2050 seja aproximadamente 748 mil Km².

Esta previsão reflete a trajetória de exploração e perda ambiental passou a ter soluções paliativas somente a partir do ano 2005, graças a um conjunto de fatores interligados. A promulgação da constituição federal do Brasil em 1988 (Brasil, 1988), ao assegurar a preservação ambiental como direito fundamental, sinalizou uma nova fase na relação do país com seus recursos naturais. Isso, aliado à estabilização do crescimento populacional e à adoção de políticas de fiscalização mais rigorosas sob a ótica do novo do código florestal brasileiro (Brasil, 2012), começou a frear o avanço do desmatamento.



A revolução tecnológica também desempenha um papel crucial nessa mudança de paradigma. O uso de imagens de satélite para monitoramento ambiental, juntamente com a disseminação de informações via internet, permitiu uma fiscalização mais eficaz e uma maior conscientização pública sobre os desafios enfrentados pela Amazônia. Estes avanços tecnológicos, combinados com uma maior pressão internacional e local por práticas de desenvolvimento sustentável, contribuíram significativamente para os esforços de diminuição do desmatamento na região.

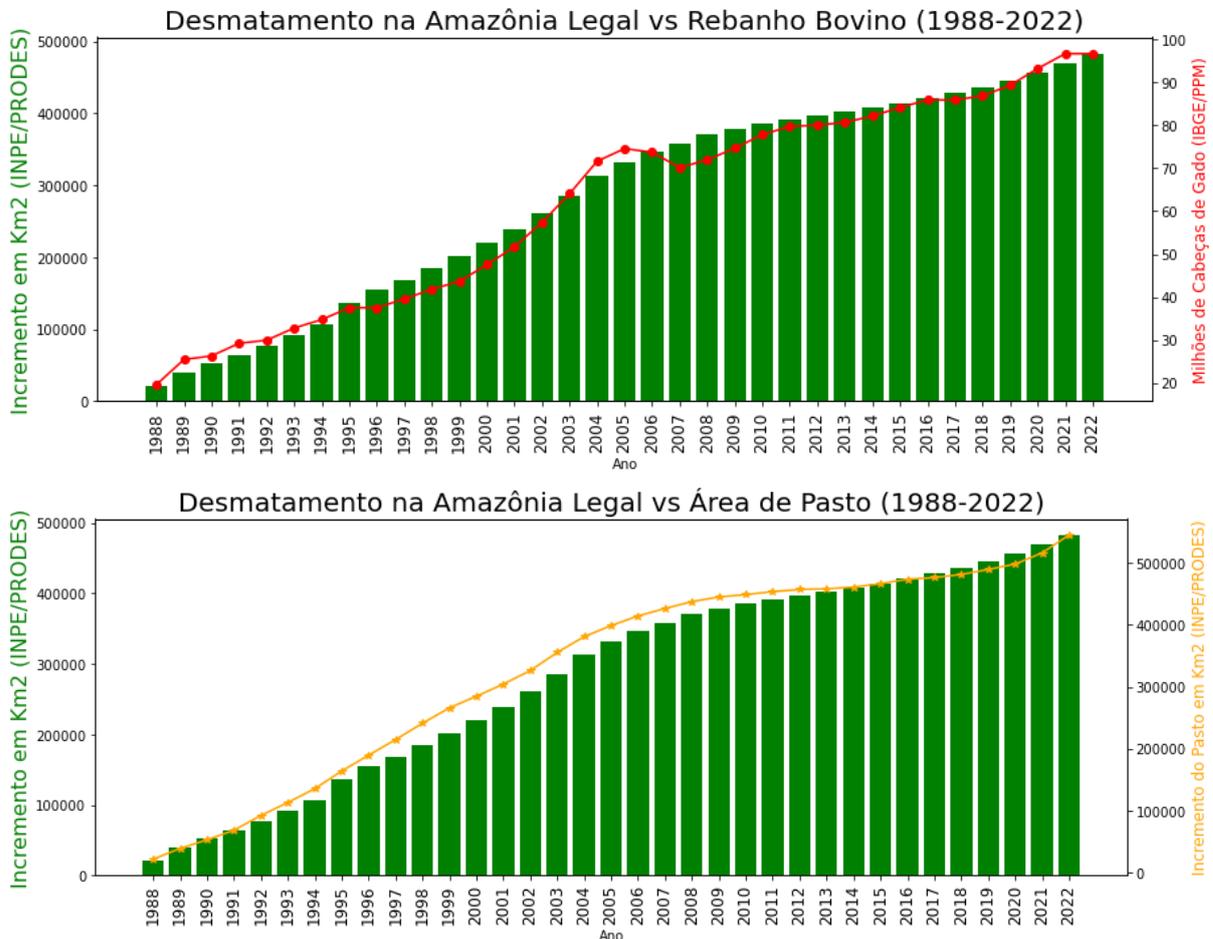
Em 2023, a taxa de desmatamento foi de 9 mil Km², uma vitória que demanda por esforço contínuo, rumo a taxa de desmatamento zero da Amazônia Legal até 2030. A luta para alcançar a taxa de desmatamento zero na Amazônia Legal é mais do que uma questão de preservação ambiental; é uma questão de urgência global que se enraíza na sobrevivência de ecossistemas críticos, na mitigação das mudanças climáticas e na salvaguarda da biodiversidade e dos meios de subsistência de milhões de pessoas. O objetivo de eliminar completamente o desmatamento na região é vital para impedir que a Amazônia atinja o chamado ponto de não retorno, um estágio em que a degradação ambiental se torna irreversível e o bioma não pode mais se sustentar, levando ao colapso de seu ecossistema.

Para se alcançar o desmatamento zero é importante que as áreas de pasto, plantio de soja, mineração sejam reguladas com maior vigor para que não aumentem a área de desmatamento na Amazônia Legal. Uma legislação mais direcionada ao quantitativo do rebanho bovino também se faz necessária, sendo que 43% do rebanho bovino está concentrado no bioma Amazônia (SEEG, 2023). A Figura 7 apresenta a evolução do desmatamento comparado ao aumento do rebanho bovino e do avanço da área de pasto, mineração.



Figura 7

Relação do avanço do rebanho bovino e área de pasto com o desmatamento na Amazônia Legal.



- (a) Em 2022, o rebanho bovino alcançou 96 milhões de cabeças.
 - (b) Em 2022, a área de pasto alcançou uma área de aproximadamente 545 mil Km².
- Fonte: Elaboração própria, dados obtidos do sistema PRODES (PRODES, 2024) e PPM (IBGE, 2024).

Nas últimas décadas, a conversão de florestas em pastagens atingiu níveis alarmantes em alguns dos principais estados da região Amazônica, conforme evidencia a Figura 7. Liderando essa transformação, o estado do Pará registrou a conversão de aproximadamente 185 mil km² de floresta em áreas de pastagem. Seguindo de perto, o Mato Grosso viu uma mudança de cerca de 155 mil km² de seu território florestal para pastagens. Rondônia, com uma transformação de 74 mil km², Maranhão, com 54 mil km², e Tocantins, com 45 mil km², também figuram entre os estados com as maiores áreas convertidas. Esses números destacam uma preocupante tendência de desmatamento na Amazônia Legal, evidenciando uma pressão crescente sobre esses ecossistemas vitais.

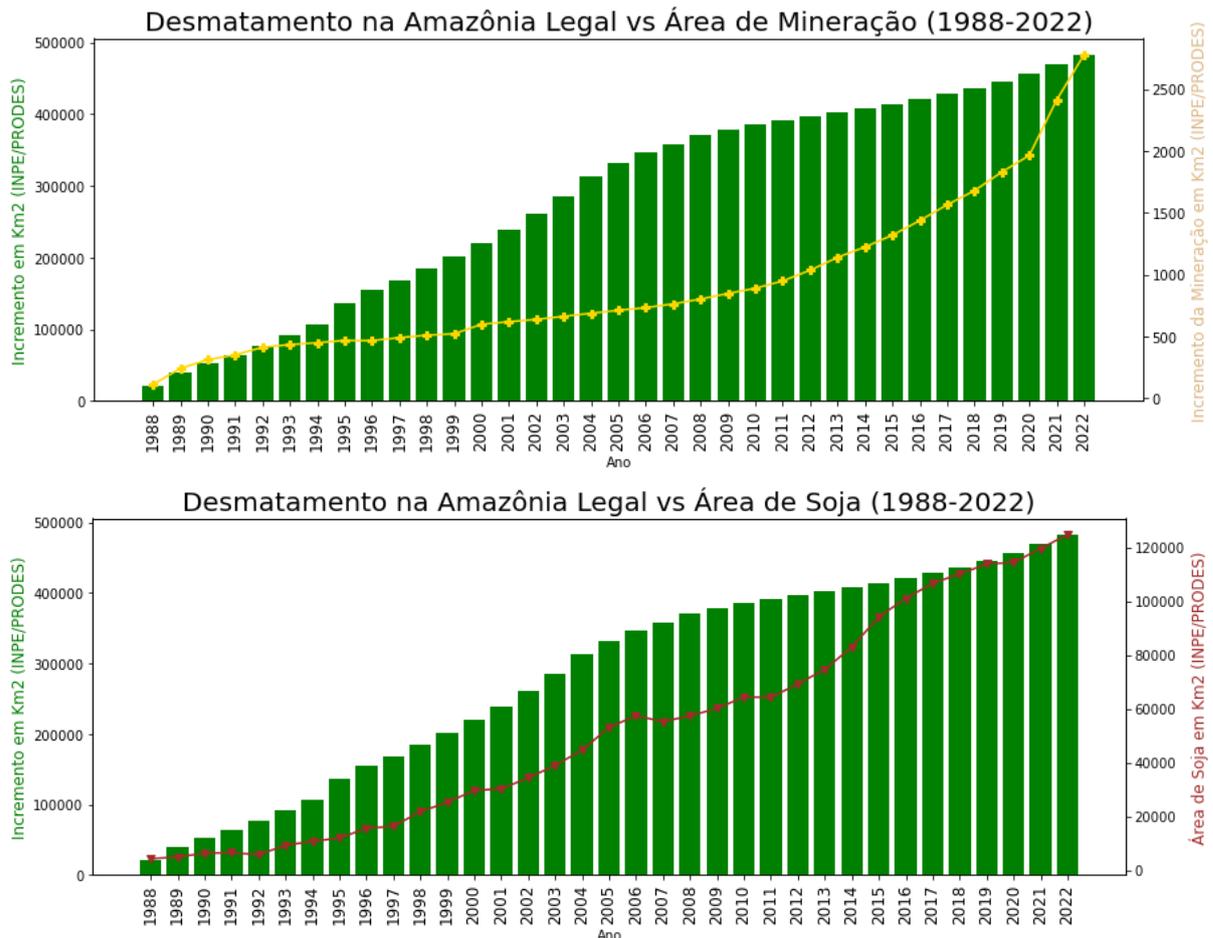
A expansão descontrolada da soja e as atividades de mineração têm sido dois dos principais motores do desmatamento na Amazônia Legal, trazendo consigo impactos



significativos tanto para o meio ambiente quanto para as comunidades locais. A Figura 8 apresenta a evolução do desmatamento comparado ao avanço das áreas de mineração e plantação de soja na Amazônia Legal.

Figura 8

Relação do avanço das áreas de mineração e soja com o desmatamento na Amazônia Legal.



(a) Em 2022, a área de mineração alcançou uma área de aproximadamente 3.14 mil Km².

(b) Em 2022, a área de soja alcançou uma área de aproximadamente 130 mil Km².

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos do sistema PRODES (PRODES, 2024) e PPM (IBGE, 2024)

A soja, em particular, tem sido um vetor de transformação da paisagem amazônica, com vastas áreas de floresta sendo derrubadas para dar lugar a monoculturas extensivas. Essa conversão não apenas resulta na perda direta de biodiversidade, mas também altera os ciclos hidrológicos e de carbono, contribuindo para as mudanças climáticas globais. Além disso, o modelo de agricultura intensiva associado à produção de soja frequentemente leva à degradação do solo, reduzindo sua fertilidade e limitando a capacidade de uso futuro da terra.

Por outro lado, a mineração na Amazônia Legal tem causado desmatamento e contaminação de rios e solos, afetando a saúde e o modo de vida das populações indígenas e

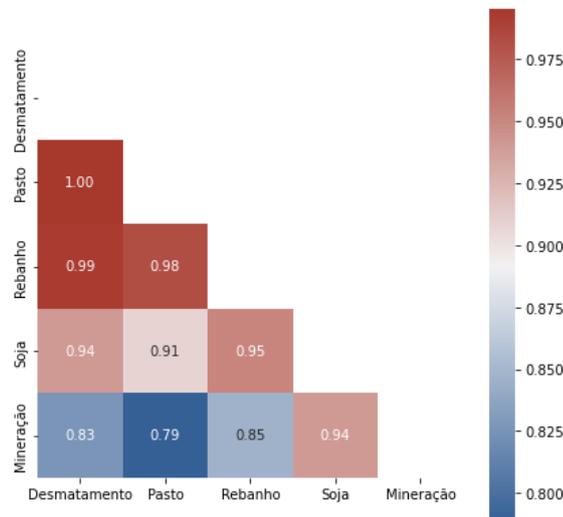


locais. A extração de recursos minerais implica na remoção da cobertura vegetal e na utilização de substâncias químicas tóxicas, como o mercúrio, que poluem cursos d'água e cadeias alimentares. Além dos impactos ambientais, a mineração frequentemente leva a conflitos sociais, deslocamento de comunidades e violações de direitos humanos, exacerbando as desigualdades sociais e econômicas na região.

A Figura 9 apresenta a matriz de correlação de Pearson aplicada as variáveis predictoras (rebanho bovino, área de pasto, área de mineração e área de soja) com o desmatamento da Amazônia Legal.

Figura 9

Matriz de correlação de Pearson relacionando o desmatamento da Amazônia Legal, com o quantitativo do rebanho bovino, área de pasto, área de mineração e área de soja ($R^2=0.99$).



Fonte: Elaboração própria, dados obtidos do sistema PRODES (PRODES, 2024) e PPM (IBGE, 2024).

A partir da interpretação da Figura 9 é notável a forte correlação entre os dados de desmatamento com os dados de rebanho bovino (0.99), área de pasto (1.00), área de mineração (0.83) e área de soja (0.94). A expansão da soja e as atividades de mineração têm sido dois dos principais motores do desmatamento na Amazônia Legal, trazendo consigo impactos significativos tanto para o meio ambiente quanto para as comunidades locais.

Essas atividades, portanto, representam desafios significativos para a sustentabilidade da Amazônia Legal, exigindo políticas integradas que promovam o desenvolvimento econômico aliado à conservação ambiental e justiça social. A implementação de práticas agrícolas sustentáveis, a fiscalização efetiva contra o desmatamento ilegal e a promoção de alternativas econômicas para as comunidades locais são essenciais para mitigar os impactos



negativos da soja e da mineração e para garantir a preservação desse bioma crucial para o planeta.

Assim, a experiência da Amazônia destaca a necessidade de abordagens sistêmicas que reconheçam e integrem as complexas interdependências entre meio ambiente, economia e sociedade. Através de uma análise que considera tanto os fatores históricos quanto as inovações contemporâneas, é possível identificar estratégias que promovam o desenvolvimento sustentável, assegurando a preservação de recursos naturais vitais para o futuro do planeta e o bem-estar das gerações futuras.

A relação entre meio ambiente, economia e sociedade é intrinsecamente complexa e multifacetada, refletindo um sistema em que as ações em uma esfera podem ter efeitos profundos e, muitas vezes, imprevisíveis nas outras. A história recente da Amazônia brasileira ilustra vividamente essa dinâmica sistêmica, revelando como a interação entre desenvolvimento econômico, políticas públicas e conservação ambiental pode moldar o destino de um dos biomas mais importantes do mundo.

3.1 SOLUÇÕES SISTÊMICAS PARA REGULAÇÃO DO REBANHO BOVINO E ÁREA DE PASTO

O controle do avanço do rebanho bovino e da área de pastagem na Amazônia Legal requer uma abordagem sistêmica que aborde as causas subjacentes do desmatamento e promova práticas sustentáveis de manejo do solo e dos animais. Estas soluções devem integrar considerações ambientais, econômicas e sociais para serem eficazes e sustentáveis a longo prazo. Aqui estão algumas estratégias que podem ser implementadas:

1. **Intensificação Sustentável da Pecuária:** Promover técnicas de manejo intensivo sustentável, que aumentem a produtividade do gado por área, reduzindo assim a necessidade de expansão de pastagens. Isso inclui a melhoria da qualidade da alimentação, programas de saúde animal e melhoramento genético;
2. **Recuperação de Áreas Degradadas:** Incentivar a recuperação de pastagens degradadas através de técnicas de manejo do solo e revegetação, tornando essas áreas novamente produtivas e reduzindo a pressão por novas áreas de desmatamento;
3. **Sistemas Agroflorestais e Silvipastoris:** Estimular a adoção de sistemas agroflorestais e Silvipastoris que integrem árvores, culturas agrícolas e pecuária numa mesma área. Esses sistemas podem aumentar a biodiversidade, melhorar a qualidade do solo e da água, além de proporcionar múltiplas fontes de renda para os agricultores;



4. **Certificação de Produtos:** Desenvolver e promover sistemas de certificação para carne e outros produtos derivados do gado, que assegurem práticas de produção sustentáveis e rastreáveis, incentivando assim o mercado a preferir produtos que não contribuam para o desmatamento;
5. **Políticas Públicas e Incentivos Fiscais:** Implementar políticas públicas e incentivos fiscais que favoreçam a pecuária sustentável e penalizem práticas de manejo que levem ao desmatamento. Isso pode incluir impostos mais altos para grandes desmatadores e subsídios ou créditos para produtores que adotam práticas sustentáveis;
6. **Monitoramento e Fiscalização:** Reforçar o monitoramento e a fiscalização do uso da terra, utilizando tecnologia de ponta como imagens de satélite para identificar desmatamento ilegal e expansão não autorizada de pastagens;
7. **Educação e Capacitação:** Oferecer capacitação técnica e educação ambiental para pecuaristas sobre práticas sustentáveis de manejo do gado e do solo, destacando os benefícios econômicos e ambientais de longo prazo;
8. **Participação e Diálogo com as Comunidades Locais:** Envolver as comunidades locais, incluindo povos indígenas e pequenos produtores, no planejamento e implementação de práticas sustentáveis, garantindo que suas necessidades e conhecimentos sejam considerados;
9. **Fomento à Pesquisa:** Apoiar a pesquisa em práticas de manejo sustentável, genética animal para eficiência produtiva, e desenvolvimento de cadeias de valor que promovam a sustentabilidade.

Adotando essas estratégias dentro de uma abordagem sistêmica, é possível conciliar a produção pecuária com a conservação ambiental na Amazônia Legal, contribuindo assim para a sustentabilidade do bioma, a estabilidade climática global e o desenvolvimento socioeconômico da região.

3.2 SOLUÇÕES SISTÊMICAS PARA REGULAÇÃO DAS ÁREAS DE MINERAÇÃO E SOJA

Para enfrentar o avanço desenfreado da área de soja e das atividades de mineração na Amazônia Legal, é essencial adotar uma abordagem sistêmica que considere as interconexões entre meio ambiente, economia e sociedade. Essas soluções devem ser multifacetadas, englobando políticas públicas, inovações tecnológicas, incentivos econômicos e a participação



ativa das comunidades locais. Aqui estão algumas estratégias que podem ser implementadas para controlar o avanço da soja e da mineração de forma sustentável:

1. **Zonificação Ecológica-Econômica (ZEE):** Implementar e respeitar rigorosamente a ZEE para direcionar as atividades agrícolas e de mineração para áreas menos sensíveis, minimizando o impacto ambiental e protegendo ecossistemas vitais;
2. **Certificação e Rastreabilidade:** Promover sistemas de certificação para produtos da soja e minerais que garantam práticas sustentáveis de produção e extração. A rastreabilidade pode ajudar a assegurar que os produtos comercializados não contribuam para o desmatamento novo;
3. **Tecnologias Ambientais:** Incentivar o uso de tecnologias avançadas para aumentar a eficiência da produção de soja em áreas já desmatadas, evitando a expansão sobre novas áreas florestais. Na mineração, investir em técnicas menos invasivas e mais sustentáveis que reduzam o impacto ambiental;
4. **Incentivos Econômicos:** Criar incentivos econômicos para práticas sustentáveis, como créditos de carbono, e desincentivos para atividades que levem ao desmatamento. Isso inclui revisar subsídios e políticas fiscais que favoreçam o avanço da fronteira agrícola e da mineração em áreas de floresta;
5. **Fortalecimento da Fiscalização:** Aumentar a capacidade dos órgãos ambientais para monitorar e fiscalizar o cumprimento da legislação ambiental, utilizando tecnologias de monitoramento por satélite e sistemas de informação geográfica (SIG);
6. **Educação e Conscientização:** Investir em programas de educação ambiental e campanhas de conscientização para produtores rurais, empresas de mineração e a sociedade em geral sobre a importância da preservação da Amazônia e as consequências do desmatamento;
7. **Participação Comunitária:** Envolver comunidades locais, povos indígenas e pequenos agricultores no processo de tomada de decisão, valorizando seus conhecimentos tradicionais e promovendo modelos de desenvolvimento sustentável que beneficiem economicamente essas populações;
8. **Cooperação Internacional:** Buscar parcerias internacionais para financiamento de projetos de conservação, pesquisa e desenvolvimento de práticas sustentáveis na região.

Ao adotar uma abordagem sistêmica, reconhecendo a complexidade das interações entre os diferentes elementos que compõem a questão do desmatamento na Amazônia Legal, é possível encontrar soluções equilibradas que promovam o desenvolvimento econômico, a conservação ambiental e o bem-estar social.



Estas ações entram em consonância com as unidades de conservação (UC) na Amazônia Legal, desempenham um papel socioeconômico importante, apoiando a subsistência de comunidades locais e indígenas através do uso sustentável dos recursos naturais e do turismo ecológico. Elas também são essenciais para a pesquisa científica, fornecendo locais para o estudo da biodiversidade, dos processos ecológicos e dos impactos das mudanças climáticas.

Embora as Unidades de Conservação na Amazônia Legal sejam vitais para a proteção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, elas enfrentam desafios consideráveis. Entre eles, destacam-se o desmatamento ilegal, a extração predatória de recursos, incêndios florestais e a expansão de atividades econômicas que comprometem a sustentabilidade ambiental. Para superar esses obstáculos, é essencial uma gestão eficaz e uma rigorosa fiscalização dessas áreas. Isso inclui a implementação de políticas públicas robustas e a adoção das soluções propostas, que visam a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais. Além disso, o engajamento e a participação das comunidades locais na gestão dessas unidades são indispensáveis. Essas ações conjuntas são cruciais não apenas para a preservação da Amazônia Legal, mas também para assegurar o bem-estar das futuras gerações, mantendo o equilíbrio entre conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico.

4 CONCLUSÃO

O estudo atual realiza uma análise sistêmica do desmatamento na Amazônia brasileira, oferecendo uma base de dados essencial para investigações futuras relacionadas a temas correlatos. A complexidade da questão do desmatamento na Amazônia envolve diversos fatores, desde o aumento populacional até a pressão por atividades econômicas na região. Os dados observados indicam, no entanto, uma redução significativa do desmatamento nos últimos anos.

É crucial continuar conscientizando a população sobre a importância da preservação ambiental e buscar soluções que promovam o desenvolvimento econômico sem causar danos ao meio ambiente. Além disso, há uma crescente necessidade de sensibilizar as novas gerações sobre a importância da preservação ambiental, buscando uma harmonia entre o desenvolvimento social e a conservação do meio ambiente.

A abordagem sistêmica desta pesquisa revela a complexidade do desmatamento na Amazônia Legal, destacando a interconexão entre atividades antrópicas, como agropecuária extensiva e mineração ilegal, e seus impactos ambientais. Ao integrar uma revisão abrangente da literatura com uma análise temporal, a pesquisa projeta cenários futuros e enfatiza a urgência



de políticas públicas eficazes. As alternativas sustentáveis propostas são importante para mitigar o desmatamento e promover a preservação da agrobiodiversidade. Assim, a pesquisa contribui significativamente para a compreensão e gestão sustentável da Amazônia Legal.

Futuras pesquisas podem explorar questões específicas em cada um dos estados que compõem a região, especialmente nos que ainda apresentam maiores índices de desmatamento. Isso proporcionaria uma compreensão mais aprofundada das dinâmicas locais e permitiria o desenvolvimento de estratégias mais eficazes para a preservação da Amazônia.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nosso profundo agradecimento ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGAGRO), à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e ao Prof. Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo, do NASDESIGN da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pelo apoio e colaboração inestimáveis ao longo deste trabalho. A contribuição dessas instituições foi fundamental para o desenvolvimento e sucesso deste estudo. Agradecemos o suporte técnico, acadêmico e institucional, bem como pelas oportunidades de aprendizado e crescimento proporcionadas.

REFERÊNCIAS

- Alfaro, R. I., Fady, B., Vendramin, G. G., Dawson, I. K., Fleming, R. A., Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R. A., Murdock, T., Vinceti, B., Navarro, C. M., Skrøppa, T., Baldinelli, G., El-Kassaby, Y. A., & Loo, J. (2014). The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. *Forest Ecology and Management*, 333, 76-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.006>
- Bittencourt, L. A., & Paula, A. (2012). Análise cienciométrica de produção científica em unidades de conservação federais do Brasil. *Revista Enciclopédia biosfera*, 8(14). <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4020>
- Brasil. (1988). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm
- Brasil. (2007a). Lei 5173 - Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/15173.htm
- Brasil. (2007b). Saiba mais sobre a amazônia legal. Câmara dos Deputados do Brasil. Recuperado de <https://www.camara.leg.br/noticias/110168-saiba-mais-sobre-a-amazonia-legal/>
- Brasil. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras



- providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm
- Carvalho, W. D., Mustin, K., Hilário, R. R., Vasconcelos, I. M., Eilers, V., Fearnside, P. M. (2019). Deforestation control in the Brazilian Amazon: A conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(3), 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.06.002>
- Castro, E., & Pinto, R. F. (2018). *Decolonialidade e sociologia na América Latina*. Belém-PA: NAEA: UFPA. Recuperado de <https://hal.science/hal-03088667/document>
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2009). *Agricultura e Abastecimento Alimentar: políticas públicas e mercado agrícola*. Brasília – DF: Conab.
- Ellwanger, J. H., Kulmann-Leal, B., Kaminski, V. L., Valverde-Villegas, J. M., Veiga, A. B., Spilki, F. R., Fearnside, P. M., Caesar, L., Giatti, L. L., Wallau, G. L., Almeida, S. E. M., Borba, M. R., Hora, V. P., & Chies, J. A. B. (2020). Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 92(1), e20191375. <http://doi.org/10.1590/0001-3765202020191375>
- Frausin, G., Brosler, E., & Bentes, L. (2020). *Maués, Amazonas-Brasil; Agrobiodiversidade e agricultura familiar*. Chicago IL, USA: Field Museum. Recuperado de fieldguides.fieldmuseum.org
- Galúcio, A. V., & Prudente, A. L. (Orgs.). (2019). *Museu Goeldi: 150 anos de Ciência na Amazônia*. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi.
- Gomes, J. M. S., Silva, A. S., Brito, S. R., Mata, E. C., Barroso, R. F. F., & Frances, C. R. L. (2018). Incidence of leprosy in the Brazilian Amazon region and its analogy in relation to Brazilian municipalities: A sociodemographic analysis using Bayesian networks. *International Journal of Development Research*, 08, 24189-24194.
- Gomes, V. H. F., Vieira, I. C. G., Salomão, R. P., & Ter Steege, H. (2019). Amazonian tree species threatened by deforestation and climate change. *Nature Climate Change*, 9, 547-553. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0500-2>
- Hogan, D. J. (1997). Mudança ambiental e o novo regime demográfico. In C. Cavalcanti (Org.), *Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas* (3ª ed., pp. 436). São Paulo, SP: Cortez Editora.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2023). *Amazônia Legal*. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2024). *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>
- Martorano, L. G., Siviero, M. A., Tourne, D. C. M., Vieira, S. B., Fitzjarrald, D. R., Vettorazzi, C. A., Brienza Junior, S., Yeared, J. A. G., Meyering, E., & Lisboa, L. S. S. (2016). Agriculture and forest: A sustainable strategy in the Brazilian Amazon. *Australian Journal of Crop Science*, 10(8), 1136-1143.



- Mataveli, G., Chaves, M., Guerrero, J., Escobar-Silva, E. V., Conceição, K., Oliveira, G. (2022). Mining is a growing threat within indigenous lands of the Brazilian Amazon. *Remote Sensing*, 14(16), 4092. <https://doi.org/10.3390/rs14164092>
- PRODES. (2024). Deforestation in Brazilian Amazonia. Recuperado de http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates
- Rodrigues, R. M. (1989). A flora da Amazônia. Belém, PA: CEJUP.
- Santilli, J. (2009). Agrobiodiversidade e direitos dos agricultores. São Paulo, SP: Editora Peirópolis LTDA.
- Santos, A. V. F., Anhê, B. B., Soares, J. A. C., Bastos, L. F., Lins, P. M. P., Farias, P. R. S., Batista, T. F. C., & Silva, A. G. (2020). Distribuição espaço-temporal da doença murcha-de-phytonomas em plantio de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) na Amazônia oriental. *International Journal of Development Research*, 10, 40437-40442. <https://dx.doi.org/10.37118/ijdr.19894.09.2020>.
- Sayão, L. F., & Sales, L. F. (2012). Curadoria digital: um novo patamar para a preservação de dados digitais de pesquisa. *Revista Informação & Sociedade*, 22(3), 179-191. <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/ies/article/view/12224>
- Scholar Google. (2023). Consulta à base de dados. Recuperado de <https://scholar.google.com.br>
- SEEG. (2023). MapBiomas Brasil. Recuperado de <https://brasil.mapbiomas.org/>
- Sombra, T. R., Santini, M. R., Morais, E. C., Couto, W. O., Zissou, A. J., Campos, P. S. S., Almeida, J. F. S., & Chase, O. A. (2020). Redes sociais científicas e inteligência artificial – uma revisão sistemática aplicada a reconhecimento de padrões. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 941-9954. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-030>
- Taylor, S. J., & Letham, B. (2023). Prophet: Automatic forecasting procedure. Disponível em <https://github.com/facebook/prophet>
- Trindade, J. R., Santos, J. U. M., & Gurgel, E. S. (2022). Estudos com plantas espontâneas no Brasil: uma revisão. *Research, Society and Development*, 11(7), e14111729700. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29700>
- Waroux, Y. L. P., Garrett, R. D., Graesser, J., Nolte, C., White, C., & Lambin, E. F. (2019). The restructuring of South American soy and beef production and trade under changing environmental regulations. *World Development*, 121, 188-202. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.05.034>
- Zissou, A. J., Farias, P. R. S., & Chase, O. A. (2020). Agribusiness in the Brazilian Amazonia: A general overview. *International Journal of Development Research*, 10, 41193-41197. <https://dx.doi.org/10.37118/ijdr.20286.10.2020>
- Zissou, A. J., Farias, P. R. S., & Chase, O. A. (2021). Modelo do Observatório do Conhecimento Amazônico de Agronomia (OBAMA): um meio para integração sustentável da produção agropecuária no estado do Pará. *International Journal of Development Research*, 11, 43195-43206. <https://dx.doi.org/10.37118/ijdr.20779.01.2021>

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A questão do desmatamento na Amazônia é complexa e envolve vários fatores, incluindo o aumento populacional e a pressão por atividades econômicas na região. Mas é notório através dos dados observados que o desmatamento na Amazônia do Brasil reduziu significativamente nos últimos anos.

É imperativo que governos, organizações não governamentais e a sociedade civil trabalhem em conjunto para desenvolver estratégias que permitam a coexistência harmoniosa entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental na Amazônia, visando a um futuro mais sustentável e resiliente para a humanidade.

Segundo pesquisadores da UFRA (2023), afirmam que, intensificando a produção agropecuária, é possível diminuir a pressão sobre a floresta. Ao invés de colocar um animal por hectare, que é o que ocorre, é possível colocar até cinco animais por hectare. Mais animais na mesma área, diminui a pressão de abrir novas áreas, então se consegue produzir mais, no mesmo espaço, e isso já vem acontecendo na pecuária. Derrubada e queima ilegal da floresta é o problema, intensificar a pecuária de forma correta, em áreas já abertas, é o caminho.

A análise do desmatamento na Amazônia Legal, nos permitiu oferecer uma gama de contribuições nos vários níveis: ambiental, social, econômico, acadêmico, político e educação e conscientização. Essas contribuições destacam a importância crucial da análise do desmatamento na Amazônia Legal não apenas como uma medida reativa, mas como uma ferramenta proativa para a gestão sustentável, visando o equilíbrio entre desenvolvimento e conservação.

A abordagem sistêmica desta pesquisa revela a complexidade do desmatamento na Amazônia Legal, destacando a interconexão entre atividades antrópicas, como agropecuária extensiva e mineração ilegal, e seus impactos ambientais. Ao integrar uma revisão abrangente da literatura com uma análise temporal, a pesquisa projeta cenários futuros e enfatiza a urgência de políticas públicas eficazes. As alternativas sustentáveis propostas são importantes para mitigar o desmatamento e promover a preservação da agrobiodiversidade. Assim, a pesquisa contribui significativamente para a compreensão e gestão sustentável da Amazônia Legal.

ARTIGO 2
**(DEFORESTATION OF BRAZILIAN
AMAZONIA: TEMPORAL ANALYSIS AND
MITIGATION PROPOSALS)**



DEFORESTATION OF BRAZILIAN AMAZONIA: TEMPORAL ANALYSIS AND MITIGATION PROPOSALS

José Maria da Silveira Gomes¹
Caio Castro Rodrigues²
Gledson Luiz Salgado de Castro³
Alex de Jesus Zissou⁴
Emerson Cordeiro Moraes⁵
Pedro Silvestre da Silva Campos⁶
Otavio Andre Chase⁷
Paulo Roberto Silva Farias⁸

ABSTRACT

Objective: The aim of this research is to analyze deforestation in the Brazilian Amazon region since 1988, identifying patterns and determining factors. Additionally, it seeks to propose solutions to reduce the advancement of deforestation in the region.

Theoretical reference: The theoretical framework of this research is based on concepts and theories related to deforestation, including previous studies on the impacts and causes of deforestation in the Legal Amazon.

Methodology: The method used in this research is time series analysis, utilizing reliable data from satellite images and official reports. The analysis includes evaluating trends over time, identifying determining factors through regression analyses, and assessing ecological, social, and economic impacts.

Results and Conclusion: The results reveal significant changes in deforestation rates over the analyzed period. They also identify key driving factors such as agricultural expansion, infrastructure development, and land-use dynamics. The impacts of deforestation, including biodiversity loss and the displacement of indigenous communities, are highlighted.

Research Implications: The implications of this research are extensive and cover public policies, conservation practices, and sustainable development. It emphasizes the need for immediate actions to curb deforestation, protecting biodiversity, ecosystem services, and the rights of indigenous communities.

Originality/Value: The originality of this research lies in the combination of time series analysis with the proposal of comprehensive solutions to the problem of deforestation in the Brazilian Amazon. According to this study, time

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brazil. E-mail: silveira.gomes@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-5177-536X>

² Instituto Tecnológico Vale (ITV), Belém, Pará, Brazil. E-mail: caiocastro.eng@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9147-8162>

³ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brazil. E-mail: gledson.castro@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3126-6720>

⁴ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brazil. E-mail: alex.zissou@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4519-3259>

⁵ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brazil. E-mail: emerson.morais@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5419-2023>

⁶ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brazil. E-mail: pedro.campos@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8476-5569>

⁷ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brazil. E-mail: otavio.chase@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0246-8339>

⁸ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brazil. E-mail: paulo.farias@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9212-8957>



series analysis revealed that the main implications for deforestation in the Legal Amazon are associated with mining and soybean cultivation.

Keywords: Brazilian Amazon, Deforestation, Time Series Analysis, Ecosystem Services, Sustainable Development.

DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA LEGAL: ANÁLISE TEMPORAL E PROPOSTAS DE MITIGAÇÃO

RESUMO

Objetivo: O objetivo desta pesquisa é analisar o desmatamento na região da Amazônia brasileira desde 1988, identificando padrões e fatores determinantes. Além disso, busca propor soluções para reduzir o avanço do desmatamento na região.

Referencial teórico: O referencial teórico desta pesquisa se baseia em conceitos e teorias relacionados ao desmatamento, incluindo estudos anteriores sobre os impactos e causas do desmatamento na Amazônia Legal.

Método: O método utilizado nesta pesquisa é a análise de séries temporais, fazendo uso de dados confiáveis provenientes de imagens de satélite e relatórios oficiais. A análise inclui a avaliação das tendências ao longo do tempo, a identificação de fatores determinantes por meio de análises de regressão e a avaliação dos impactos ecológicos, sociais e econômicos.

Resultados e conclusão: Os resultados revelam mudanças significativas nas taxas de desmatamento ao longo do período analisado. Identificam também os principais fatores impulsionadores, como expansão agrícola, desenvolvimento de infraestrutura e dinâmica do uso da terra. Os impactos do desmatamento, incluindo a perda de biodiversidade e o deslocamento de comunidades indígenas, são destacados.

Implicações da pesquisa: As implicações desta pesquisa são vastas e abrangem políticas públicas, práticas de conservação e desenvolvimento sustentável. Destaca a necessidade de ações imediatas para conter o desmatamento, protegendo a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e os direitos das comunidades indígenas.

Originalidade/valor: A originalidade desta pesquisa reside na combinação da análise de séries temporais com a proposta de soluções abrangentes para o problema do desmatamento na Amazônia brasileira. Segundo este estudo, a análise de séries temporais revelou que as principais implicações no desmatamento da Amazônia Legal estão associadas às atividades de garimpo e cultivo de soja.

Palavras-chave: Amazônia Brasileira, Desmatamento, Análise Temporal, Serviços Ecossistêmicos, Desenvolvimento Sustentável.

RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1 INTRODUCTION

The Amazon, the world's largest rainforest, plays a vital role in global climate stability, biodiversity conservation and the planet's ecological balance. In recent years, however, the region has faced a growing and worrying challenge: deforestation (SENATE AGENCY, 2023). The loss of forest cover in the Amazon not only threatens the forest itself, but also has significant repercussions on a global scale (Bryce, 2023; MPF, 2022).

The analysis of the time series of deforestation in the Amazon is fundamental for understanding the dynamics of this process and identifying the factors that contribute to the advance of deforestation activities in the region (Alencar, 2004; Assunção et al., 2023; Shukla



et al., 1990). Deforestation in the Amazon has complex and multifactorial roots, involving economic, political, social and environmental issues (MMA, 2017).

This study set out to analyze the time series of deforestation in the Amazon and to identify the activities that most contribute to this environmental degradation. Over time, the growing demand for land for agriculture, livestock, mining and other economic activities has played a significant role in the region's deforestation (Fearnside, 2022b).

Land use policies, land reforms, infrastructure, as well as illegal practices such as prospecting and unregulated logging have also influenced increased rates of deforestation (Fearnside, 2022c).

Understanding the relationship between deforestation and these activities is essential for the development of effective conservation strategies and for the fulfillment of climate change mitigation goals. In addition, this knowledge is crucial for making informed decisions aimed at protecting the Amazon and ensuring its contribution to maintaining the global environmental balance (Fearnside, 2022a).

This study uses time series analysis and quantitative data to shed light on the factors that drive deforestation in the Amazon and seeks to contribute to the scientific foundation of the policies for conservation and sustainable management of the forest. The preservation of the Amazon is a responsibility shared by all of humanity, since the impacts of deforestation in the region reverberated around the world, affecting the climate, biodiversity and the quality of life of future generations.

In this context, this study is an important step in the direction of understanding and action to contain deforestation in the Amazon and ensure the preservation of this invaluable natural heritage for present and future generations. The identification of the most important activities in this process is a fundamental step for developing conservation strategies and public policies that can reconcile economic development with environmental preservation, promoting sustainability in the Amazon region.

The research of the present study seeks to answer the following question: Is it possible to identify the main factors of deforestation in the Amazon Legal?

The hypothesis is that the temporal analysis of deforestation has the potential to quantify the predominant activities in the process of deforestation in the Legal Amazon. Based on this analysis, it is possible to identify specific measures that can be implemented to mitigate and contain deforestation in the Amazônia Legal region.

The present study seeks to contribute to the expansion of solutions to the issues related to the context of deforestation in the Legal Amazon. The results will help policymakers, residents and the world make decisions that decrease environmental impact, thereby increasing the safety of the Amazon rainforest.

As described in this study, the analysis of time series made it possible to show that the activities of mining and soybean cultivation, are the ones that most influence the deforestation of the Legal Amazon.

2 SEARCH METHOD

In the analysis of the coverage of deforestation in the Legal Amazon by time series, two fundamental tools were employed. For the assessment of the annual rate of deforestation, information from PRODES-DETER (INPE, 2023) was used. Detailed analysis of land use and cover was based on MapBiomass Collection 8.0 (SEEG, 2023). The processing of this data by time series allows to examine and interpret patterns, trends and fluctuations in deforestation rates over specific periods.

In the approach to land use and cover, research has focused on several categories, such as Pasture, Temporary Crops, Perennial Crops, Industrial Mining, Mining and Urban Areas.



This comprehensive approach has allowed an in-depth understanding of the dynamics that contribute to deforestation in the Amazon Legal region.

Accurate and up-to-date data provided by PRODES-DETER and MapBiomas Collection 8.0 has enabled a more robust and comprehensive analysis of changes in forest coverage. This approach, by considering multiple aspects of land use, provides a more complete overview of activities impacting the region, and is crucial to guiding effective conservation and sustainable management strategies.

The PRODES project carries out satellite monitoring of shallow-cut deforestation in the Legal Amazon and has produced, since 1988, the annual rates of deforestation in the region, which are used by the Brazilian government for establishing public policies. The annual rates are estimated from the increments of deforestation identified in each satellite image that covers the Legal Amazon.

Regardless of the satellite and sensors used, the minimum area mapped by PRODES is 6.25 hectares. The estimates are considered reliable by national and international scientists (Kintisch, 2007). This system has been shown to be of great importance for actions and planning of public policies in Amazonia. Recent results, from analyzes carried out with independent experts, indicate a level of precision close to 95% (INPE, 2023).

MapBiomas is an annual mapping project of Brazil's land cover and use, developed by a collaborative network of nongovernmental organizations (NGOs), universities and technology companies (SEEG, 2023). The project was launched in 2015 and aims to provide accurate and up-to-date information on changes in the Brazilian territory, to support decision-making on conservation, sustainable use of natural resources and combating climate change.

3 TIME SERIES ANALYSIS ON DEFORESTATION IN THE AMAZON LEGAL

This session presents the acquisition, processing, and validation of data. The purpose is to demonstrate correlations and perceptions about the activities that contribute most to deforestation in the Amazon Region.

3.1 Data Acquisition and Processing

Figure 1 presents the area of interest of this study, the Legal Amazon, in the context of the advance of deforestation from 1988 to 2022.

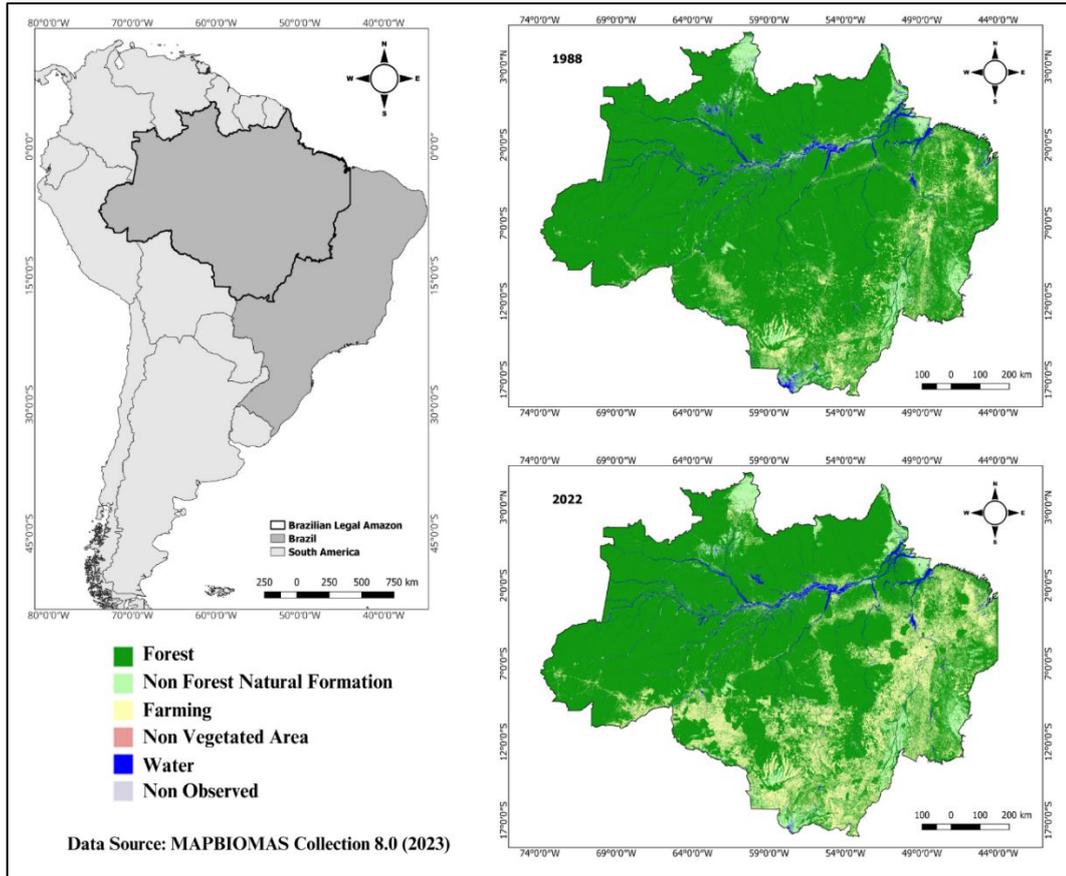


Figure 1: Map of Location and Use and Coverage of the Land in the Brazilian Legal Amazon between 1988 and 2022.

Source: Own production, data obtained from the MAPBIOMAS 8.0 collection (SEEG, 2023).

According to the data provided by MapBiomias, 92% of the mining area in Brazil is located in the Amazon region, and only in the year 2022, that area increased by 337 km². The graph shown in Figure 2 reveals a remarkable trend in the growth of gold prospecting in recent years, unprecedented.

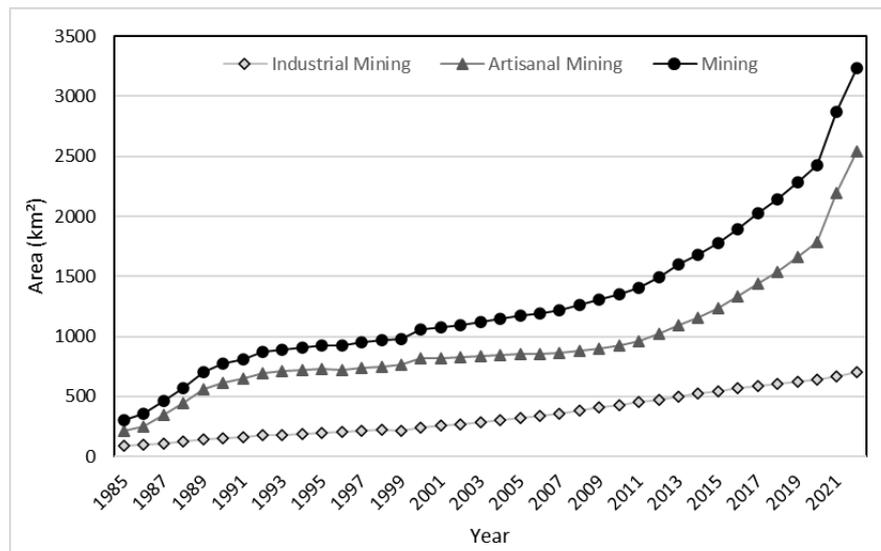


Figure 2: Evolution of mining in the Amazon Legal.

Source: Own production, data obtained from the MAPBIOMAS 8.0 collection (SEEG, 2023).



This trend is also reflected in the age of prospecting in the Amazon, see Table 1, where 40.7% of exploration areas were opened in the last 5 years, counting from the year 2022.

Table 1: Age of Mining Areas in Brazil

Age of Mining	Amazon	Indigenous Land	Conservation Unit
≤ 5 years	40,70%	62,30%	42,80%
≥ 5 years and ≤ 10 years	17,70%	21,90%	24,00%
≥ 10 years and ≤ 20 years	10,00%	3,70%	11,50%
≥ 20 years	31,60%	12,10%	21,70%

Source: Own development, data obtained from the MAPBIOMAS 8.0 collection (SEEG, 2023).

In indigenous lands, this percentage of prospecting reaches 62.3%, and in conservation units, reaches 42.8% in the last 5 years. In 2022, an impressive 78.39% of the total mining area in *Amazônia Legal* was occupied by prospecting, with 85.4% of this activity being associated with gold extraction (SEEG, 2023).

Deforestation activity goes back to the 1960s, when the government plan for occupation, integration and development of the Brazilian Legal Amazon (ALB) was implemented, which boosted investments in large-scale projects, offered tax incentives to private enterprises and implemented migration policies, resulting in attracting a significant amount of people and farming enterprises to the region (Oliveira et al., 2021).

Already (Laurance et al., 2004) consider that the large infrastructure projects in ALB, mainly the construction of highways, such as BR-230 (Transamazônica), BR-010 (Belém-Brasília) and BR-364 (Cuiabá-Porto Velho), have unleashed a strong movement of land speculation, which in turn have contributed to catastrophic levels of deforestation around these highways, a region currently known as the "Arc of Deforestation of the Brazilian Amazon", which extends from the west of Maranhão, southeast/south Pará, in a westerly direction passing through the states of Mato Grosso, Rondônia and Acre (Domingues & Bermann, 2012).

Corroborating with this idea, (Fearnside, 2022c) also considers that government incentives played a crucial role in boosting deforestation in ALB between the 1970s and 1980s, since land was highly valued and the removal of forests made it possible to claim the territory, even if a movement of speculation in this dynamic is discussed. In this period, the replacement of the original vegetation occurred mainly for conversion into large areas of pasture and monocultures, in particular soybeans (Ribeiro & Marzari, 2020).

However, due to the large fiscal stimulus packages and government subsidies, the large landowners of ALB became more sensitive to economic change. With this, hyperinflation and economic recession between the second half of the 1980s and the early 1990s reduced rural credit and investments in infrastructure and settlement projects, as well as international pressures for the conservation of the Amazon, limiting the expansion of farming activities, which explains the reduction in deforestation rates in this period (Fearnside, 2022b; Messias et al., 2021), as shown in Figure 3.

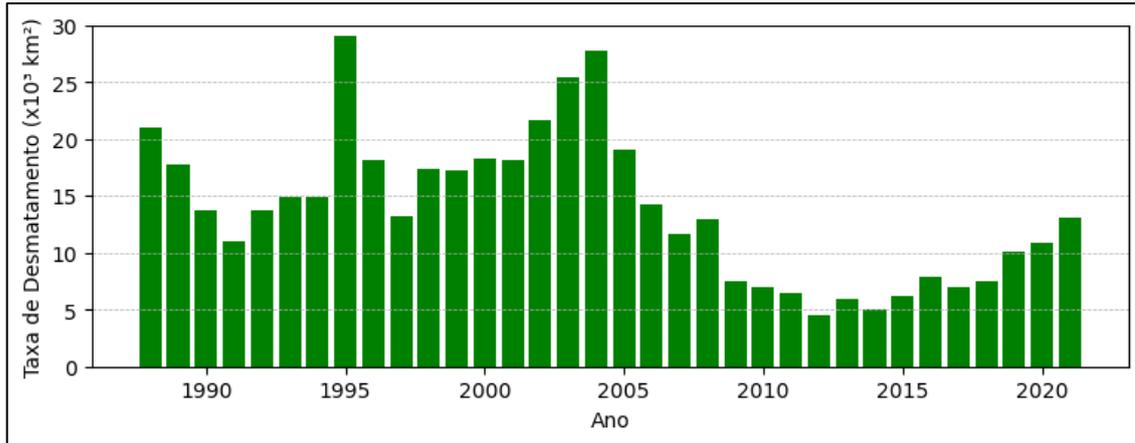


Figure 3: Rate of deforestation in the Brazilian Legal Amazon between 1988 and 2021.
Source: Own production, data obtained from the PRODES-DETER system (INPE, 2023).

Following the same line of thought, (Fearnside, 2022a) points out that the highest rate of deforestation in the time series (29,059 km²) in 1995 can be attributed to the economic recovery driven mainly by the Real Plan, resulting in greater availability of rural credit. Furthermore, the subsequent fall in the rate of deforestation in the years 1996 and 1997 was considered a logical response to the new economic policy, since there was a drastic reduction in inflation, causing a fall in the price of land, not being favorable to speculative movements.

In addition, between 1995 and 1997 there was an acceleration in the demarcation of Indigenous Lands and the creation of Conservation Units - UC (Messias et al., 2021). Then, in the period from 1998 to 2004, the annual rate of deforestation obtained an increase of approximately 60%, reaching the second highest value of the time series, with 27,772 km², as shown in Figure 4. The research (Alencar, 2004) shows that this increase is a consequence of the great international demand for beef and soya.

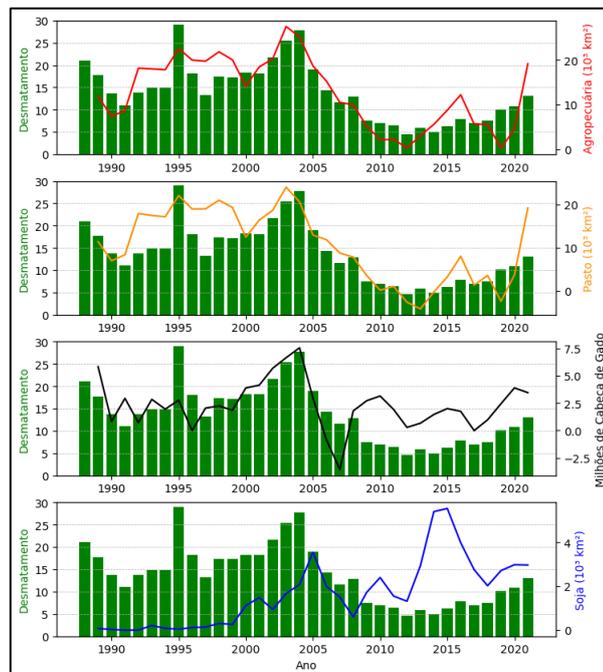


Figure 4: Comparison of Deforestation with the evolution of Agriculture, Pasture, Livestock Heads and Soybeans.
Source: Own production, data obtained from the PRODES-DETER systems (INPE, 2023) and IBGE Agricultural Production (IBGE, 2022).



In the years 2005, 2006 and 2007, a substantial drop in the rate of deforestation was observed, (Messias et al., 2021) and (Lélis et al., 2019) explain that this fact has an influence of the commodities crisis, as they reduced the demand for beef and soybeans, reflecting the reduction of the herd and the abrupt drop in the increase of soybean planted area in the period.

In addition, in the face of the worrying deforestation scenario that occurred in 2004, the Brazilian government implemented the Plan of Action and Prevention and Control of Deforestation of the Legal Amazon (MMA, 2017), acting on land and territorial planning, environmental monitoring and control, and fostering sustainable productive activities, involving partnerships between federal, state and municipal bodies. In parallel, the Real Time Deforestation Detection (DETER) system was created through remote sensing, a tool capable of creating daily deforestation bulletins and assisting in enforcement actions (MMA, 2017).

The PPCDAm provided the unlocking of several processes for the creation of UCs, only in the years 2005 and 2006 were added 421,721.23 km², contributing also in the reductions of deforestation rates, as presented in Figure 5.

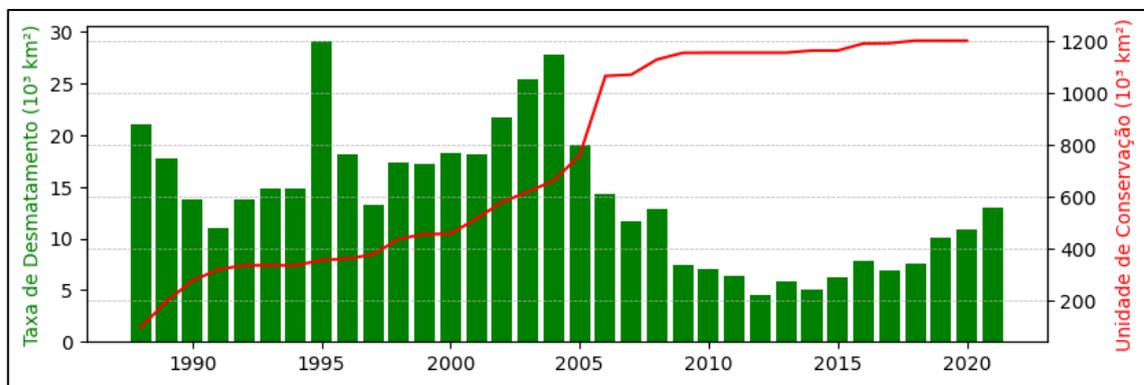


Figure 5: Deforestation Rate and Sum of Total Area of UCs.

Source: Own production, data obtained from PRODES-DETER systems (INPE, 2023).

During the three phases of the PPCDAm in the period from 2004 to 2015, more than 50,000 km² of UCs were created, and more than 10,000 km² in indigenous areas, mainly in regions of the agricultural frontier and with high pressure for deforestation. However, Asunción et al., (2013) point out that the introduction of DETER was the main measure of deceleration of deforestation, since the system worked as an irradiation pole of surveillance actions, performing data processing for several localities at the same time and used for several purposes. Enabling priority areas to be identified, fines to be imposed and people who have committed criminal acts to be arrested (Mello & Artaxo, 2017; West & Fearnside, 2021).

These actions also brought about a behavioral change in those who carried out illegal deforestation, going on to suppress areas less than 25 hectares, since they are not detected by the DETER. On the other hand, the business sector has come to have the perception that the risks associated with deforestation of large areas, such as embargoes and fines, have made the costs for their realization much more expensive (Mello & Artaxo, 2017).

3.2 Correlation Analysis and Validation

Data from Deforestation, Pasture, Temporary Crops, Perennial Crops, Industrial Mining, Mining and Urban Areas were organized into a matrix of *Pearson* correlations among the variables that will be investigated as predictors of the annual rate of deforestation, as shown in Figure 6.

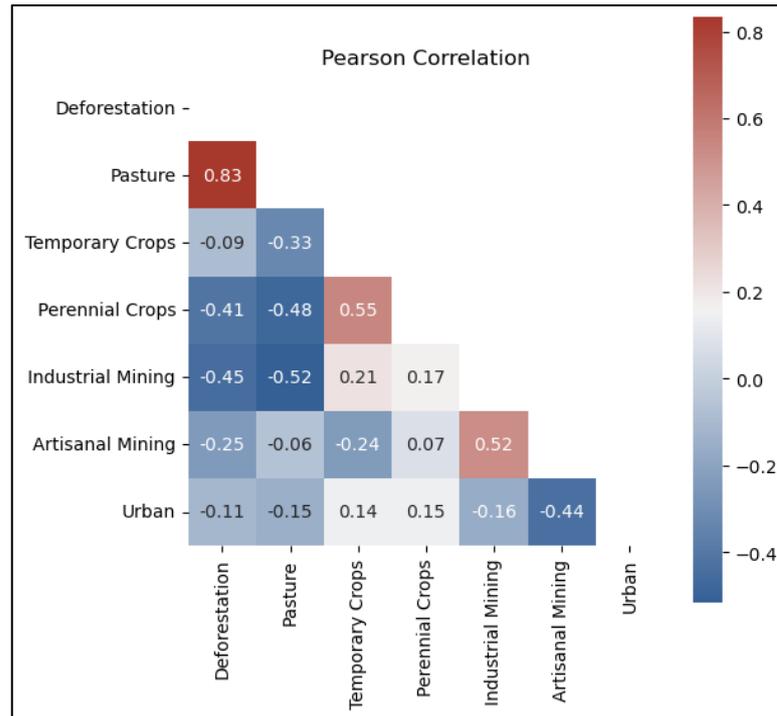


Figure 6: Correlation Matrix between Variables
Source: Own production, data obtained from PRODES-DETER systems (INPE, 2023).

A multiple linear regression analysis was carried out with the objective of breaking the relations between the variables and isolating the impact of each one on the dependent variable, which is Deforestation. The result of the multiple linear regression model revealed a coefficient of determination (R^2) of 71.74%, indicating the proportion of variance in the annual rates of deforestation that can be explained by the independent variables.

4 RESULTS AND DISCUSSION

Within the set of temporary crops are included the classes Soya (Figure 7a), and Sugar Cane, Rice, Cotton and Other Temporary Crops (Figure 7b). However, soybeans are the crop with the largest contribution in planted areas, in 2022 this ratio represented about 86.63% of the total quantitative area of the set, as shown in Figure 7.

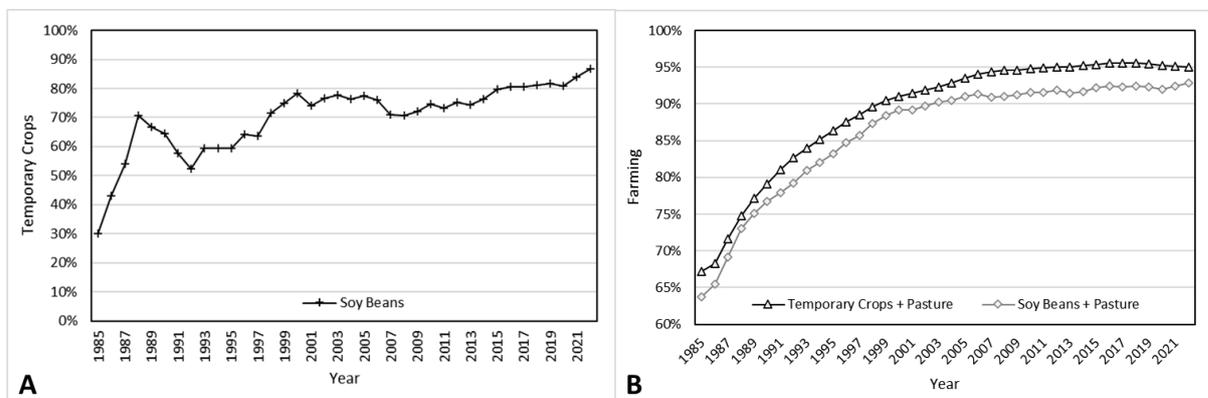


Figure 7: Soybeans are the crop with the largest contribution in planted areas in 2022
Source: Own production, data obtained from PRODES-DETER systems (INPE, 2023).



In the last six years, Brazil has experienced a worrying upward trend in deforestation. Data from institutions such as the National Institute for Space Research (INPE, 2023) and the Institute of Man and the Environment of the Amazon (IMAZON, 2023) show a significant increase in the rate of deforestation in several regions of the country.

One of the main biomes affected is the Amazon, which historically has a large portion of the forest cover of Brazil. Between 2015 and 2020, the rate of legal deforestation in the Amazon rose alarmingly, reaching record levels in 2019 and 2020. There are several reasons that have contributed to this upward trend in deforestation:

- A. **Pressure for natural resources:** The search for timber, minerals and land for agriculture, livestock and urban expansion has driven deforestation. Illegal logging in protected areas is a matter of particular concern.
- B. **Agricultural expansion:** The advance of the agricultural frontier, especially for the production of commodities such as soybeans, corn and beef, is one of the main causes of deforestation. Global demand for these products has encouraged deforestation in areas of native vegetation.
- C. **Weaknesses in enforcement and governance:** The lack of adequate control and impunity for illegal deforestation have contributed to the increase in practice. The lack of resources, personnel and infrastructure for the surveillance has made it difficult to prevent and punish those responsible.
- D. **Changes in environmental policies:** Changes in government policies can impact deforestation. Flexibilizations in environmental regulations, such as reducing conservation areas and lowering fines for environmental offenses, can spur illegal practices.
- E. **Forest fires:** Forest fires, often intentionally started to clear deforested areas, have also contributed to vegetation loss and increased deforestation.

This upward trend in deforestation has serious consequences for the environment, biodiversity and local communities. The destruction of natural forests undermines climate regulation, increases greenhouse gas emissions, and interferes with global climate change. It also negatively affects indigenous and traditional communities that rely on forest resources for their livelihood.

Combating deforestation requires a joint effort of governments, civil society, business and local communities. It is essential to strengthen enforcement, raise awareness of the importance of environmental conservation, invest in sustainable alternatives to economic activities and update and strengthen environmental legislation. Actions such as the protection of protected areas, the promotion of low-carbon agriculture and the promotion of responsible productive chains are important ways to reverse this trend and promote sustainable development.

4.1 The Role of Banking and Financial Institutions in Slowing Down Deforestation

The role of banks and finance in slowing down deforestation is extremely important, as they have a direct influence on the economic activities that involve the destruction of forests.

- A. **Financing deforestation activities:** Banks and finance can fund companies involved in deforestation activities, such as intensive agriculture and livestock, logging or irresponsible mining. By providing financial resources to these companies, they are indirectly contributing to the increased destruction of forests.
- B. **Development of sustainable credit policies:** Banks and finance can adopt more restrictive policies regarding lending to companies involved in deforestation-related activities. They may require these companies to demonstrate compliance with stringent environmental criteria before granting loans or financing.



- C. **Investment in sustainable projects:** In addition to establishing restrictive policies, the role of banks and finance in slowing down deforestation is extremely important, as they have a direct influence on economic activities involving forest destruction.
- D. **Financing deforestation activities:** Banks and finance can fund companies involved in deforestation activities, such as intensive agriculture and livestock, logging or irresponsible mining. By providing financial resources to these companies, they are indirectly contributing to the increased destruction of forests.
- E. **Development of sustainable credit policies:** Banks and finance can adopt more restrictive policies regarding lending to companies involved in deforestation-related activities. They may require these companies to demonstrate compliance with stringent environmental criteria before granting loans or financing.
- F. **Investment in sustainable projects:** In addition to restrictive policies, banks and finance can direct their investments towards sustainable projects that promote forest conservation and responsible use of natural resources. This includes investing in companies that adopt sustainable farming and cattle raising practices, promote the recovery of deforested areas, and develop more efficient technologies that have less environmental impact.
- G. **Encouraging governance and regulatory policies:** Banks and finance have a voice and significant influence in international governments and financial institutions. They can use this influence to advocate effective governance policies and stricter regulations related to deforestation. They can also support initiatives by governments and civil society organizations that seek to combat deforestation and promote forest conservation.
- H. **Transparency and disclosure:** Banks and finance can adopt transparency practices and disclose information about their environmental policies, practices and impacts. This allows consumers and society at large to make informed decisions about where to invest or to associate with these financial institutions.

In short, banks and finance have a responsibility to use their resources and influence to slow down deforestation. This can be done by implementing sustainable credit policies, investing in sustainable projects, supporting governance and regulatory policies, and transparent disclosure of information.

4.2 Link Between Deforestation in the Amazon Region and the 2008 Forestry Code

The 2008 Forest Code, also known as Federal Law No. 12,651 (BRAZIL, 2012), had a significant impact on the use and conservation of natural resources in Brazil. Among the main points of impact of the 2008 Forest Code, we can highlight:

- A. **Environmental regularization:** The Forest Code established criteria for the environmental regularization of rural properties, requiring owners to carry out actions to recover degraded areas and legal reserves, as well as to implement the Rural Environmental Register (CAR).
- B. **APPs (Permanent Preservation Areas):** The Forest Code has defined specific rules for the protection of APPs, which are areas considered to be of high environmental sensitivity, such as riverbanks, slopes and hilltops. The law established the obligation to preserve these areas, forbidding their suppression.
- C. **Legal reserves:** The forest code determined that rural properties must maintain a percentage of their area preserved as legal reserve, which varies according to the biome in which they are found. This measure aims to ensure the protection of biodiversity and ecosystem services.
- D. **Illegal deforestation:** The forestry code established sanctions and penalties for illegal deforestation, such as fines and restrictions on access to rural credit. Furthermore, the



law established deadlines for the environmental regularization of rural properties, with the objective of curbing the practice of deforestation.

E. **Biodiversity conservation:** The Forest Code has also had a positive impact on biodiversity conservation by promoting the protection of natural ecosystems. The maintenance of legal reserves and FPAs contributes to the preservation of plant and animal species and to the maintenance of ecosystem services, such as climate regulation and water supply.

F. **Land conflicts and family farming:** The forestry code also generated some land conflicts and challenges for family farming, which often have difficulties meeting legal requirements. The implementation of programs and public policies that help with environmental regularization and the adequacy of productive activities is important for mitigating these impacts.

In short, the 2008 forestry code had a significant impact on the protection and conservation of the environment in Brazil, promoting the environmental regularization of rural properties, the preservation of sensitive areas, the conservation of biodiversity and the prohibition of illegal deforestation. However, there are challenges to be overcome in implementing the law, especially related to land conflicts and the adequacy of productive activities.

4.3 Qualitative Overview of the Time Series in Deforestation in the Amazon Region

In this study, the analysis of time series emerges as a valuable tool, allowing an in-depth investigation into the temporal patterns of deforestation in the Amazon Legal region. The results reveal that among several activities, mining and soybean cultivation stand out as the main drivers of deforestation.

The practice of mining, characterized by the extraction of precious minerals, has been shown to be a significant force behind the loss of forest cover in the Amazon Legal. Similarly, the expansion of soybean cultivation appears as a relevant factor, driving the conversion of forest areas into agricultural land.

The complexity of this dynamic requires a multifaceted approach to a complete understanding of the underlying causes of deforestation. Economic, political and social factors are intertwined in this scenario, requiring conservation strategies and public policies that consider this interconnection.

The recognition of these activities as the main contributors to deforestation in the Legal Amazon highlights the urgency of implementing effective mitigation measures. The detailed understanding of these driving factors, obtained through the analysis of time series, provides the necessary basis for developing sustainable strategies, reconciling economic development with environmental preservation. This approach aims to ensure the conservation of this vital ecosystem for present and future generations.

5 FINAL CONSIDERATIONS

This article outlined the crucial relevance of the temporal analysis of deforestation in the Legal Amazon as a vital step in the search for effective solutions to mitigate and contain this phenomenon in the region. Throughout this exploration, it has become evident that mining activities and soybean cultivation play prominent roles as primary catalysts of deforestation in the Legal Amazon.

In addition to providing *fundamental insights* into the drivers of deforestation, it is imperative to highlight the significance of containing this process not only for the local preservation of biodiversity and tropical forests, but also for mitigating climate change at the



global level. The Amazon acts as a critical component in climate regulation, serving as a vital carbon sink that stabilizes weather patterns and reduces atmospheric concentrations of carbon dioxide.

Thus, effective measures to contain deforestation are not only essential to protect the Amazon, but also to play a significant role in reducing global climate change. The harmful impacts of human activities, such as mining and soybean cultivation, transcend the Amazon Region's borders, influencing climate patterns, raising global temperatures and intensifying extreme climatic phenomena.

Therefore, the containment of deforestation in the Legal Amazon is not only a responsibility of Brazil, but a global obligation. The preservation of the Amazon rainforest and the reduction of destructive activities not only safeguard one of the most diverse ecosystems in the world, but also contribute directly to global climate stability. It is imperative that governments, nongovernmental organizations and civil society unite to develop strategies that promote harmonious coexistence between economic development and environmental conservation in the Amazon, aiming at a more sustainable and resilient future for humanity.

REFERENCES

AGÊNCIA SENADO. (2023, outubro 11). Amazônia sofre com devastação e extrema alteração climática. Senado Federal. <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2023/10/amazonia-sofre-com-devastacao-e-extrema-alteracao-climatica>

Alencar. (2004, abril 17). Desmatamento na Amazônia: Indo Além da “Emergência Crônica”. IPAM Amazônia. <https://ipam.org.br/bibliotecas/desmatamento-na-amazonia-indo-alem-da-emergencia-cronica/>

Assunção, J., Gandour, C., & Rocha, R. (2023). DETER-ing Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement. *American Economic Journal: Applied Economics*, 15(2), 125–156. <https://doi.org/10.1257/app.20200196>

BRASIL. (2012). LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

Bryce, E. (2023, fevereiro). Why Is the Amazon So Important for Climate Change? *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/why-is-the-amazon-so-important-for-climate-change1/>

Domingues, M. S., & Bermann, C. (2012). O arco de desflorestamento na Amazônia: Da pecuária à soja. *Ambiente & Sociedade*, 15, 1–22. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000200002>

Fearnside, P. M. (2022a). Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências. Em *DESTRUIÇÃO E CONSERVAÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA* (1º ed). INPA.

Fearnside, P. M. (2022b). *DESTRUIÇÃO E CONSERVAÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA*. INPA.

Fearnside, P. M. (2022c). Questões de posse da terra como fatores na destruição ambiental na Amazônia brasileira: O caso do sul do Pará. Em *DESTRUIÇÃO E CONSERVAÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA* (1º ed). INPA.

IBGE. (2022). IBGE – Agricultura, pecuária e outros. IBGE. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>



- IMAZON. (2023). Imazon – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Imazon. <https://imazon.org.br/>
- INPE. (2023). PRODES — Coordenação-Geral de Observação da Terra. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>
- Kintisch, E. (2007). Carbon emissions. Improved monitoring of rainforests helps pierce haze of deforestation. *Science* (New York, N.Y.), 316(5824), 536–537. <https://doi.org/10.1126/science.316.5824.536>
- Laurance, W. F., Albernaz, A. K. M., Fearnside, P. M., Vasconcelos, H. L., & Ferreira, L. V. (2004). Deforestation in Amazonia. *Science*, 304(5674), 1109–1111. <https://doi.org/10.1126/science.304.5674.1109b>
- Lélis, M. T. C., Cunha, A. M., & Linck, P. (2019). O choque nos preços das commodities e a economia brasileira nos anos 2000. *Brazilian Journal of Political Economy*, 39, 427–448. <https://doi.org/10.1590/0101-35172019-2968>
- Mello, N. G. R. de, & Artaxo, P. (2017). Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. *Revista do Instituto de Estudos Brasileiros*, 108–129. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i66p108-129>
- Messias, C. G., Silva, D. E., Da Silva, M. B., De Lima, T. C., & De Almeida, C. A. (2021). ANÁLISE DAS TAXAS DE DESMATAMENTO E SEUS FATORES ASSOCIADOS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA NAS ÚLTIMAS TRÊS DÉCADAS. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, 52, 18. <https://doi.org/10.5380/raega.v52i0.74087>
- MMA. (2017). PPCDAm. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/prevencao-e-controle-do-desmatamento/amazonia-ppcdam-1/ppcdam>
- MPF. (2022). Por quê? —Amazônia Protege. <http://amazoniaprotege.mpf.mp.br/o-projeto/por-que>
- Oliveira, A. F. de, Oliveira, H. M., Chaveiro, E. F., & Barreira, C. C. (2021). A AMAZÔNIA LEGAL E OS CONTORNOS DA FRONTEIRA CAPITALISTA NO SÉCULO XXI. *ACTA GEOGRÁFICA*, 15(37), Artigo 37. <https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v15i37.5838>
- Ribeiro, H. de S., & Marzari, M. (2020). GEOPOLÍTICA PARA AMAZÔNIA: Políticas territoriais e expansão do agronegócio. *Revista Georaguaia*, 10(1), Artigo 1.
- SEEG. (2023). MapBiomias Brasil. <https://brasil.mapbiomas.org/>
- Shukla, J., Nobre, C., & Sellers, P. (1990). Amazon Deforestation and Climate Change. *Science*, 247(4948), 1322–1325. <https://doi.org/10.1126/science.247.4948.1322>
- West, T. A. P., & Fearnside, P. M. (2021). Brazil’s conservation reform and the reduction of deforestation in Amazonia. *Land Use Policy*, 100, 105072. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105072>

ARTIGO 3
**(HEADING FOR SUSTAINABILITY IN THE
AMAZON: A SYSTEMIC APPROACH AND
PROPOSALS TO COMBAT
DEFORESTATION)**



HEADING FOR SUSTAINABILITY IN THE AMAZON: A SYSTEMIC APPROACH AND PROPOSALS TO COMBAT DEFORESTATION

José Maria da Silveira Gomes¹
Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo²
Caio Castro Rodrigues³
Gledson Luiz Salgado de Castro⁴
Alex de Jesus Zissou⁵
Edson do Socorro Silva Andrade⁶
Emerson Cordeiro Morais⁷
Pedro Silvestre da Silva Campos⁸
José Felipe Souza de Almeida⁹
Paulo Roberto Silva Farias¹⁰
Otavio Andre Chase¹¹

ABSTRACT

Objective: The objective of this research is to carry out a comprehensive literature review, focusing on the period from 1988 to 2022, to systematically analyze the main anthropogenic activities responsible for deforestation in the Brazilian Legal Amazon.

Theoretical reference: The theoretical framework of this research is based on the existing literature on deforestation in the Amazon, covering concepts related to anthropogenic activities, environmental impacts and conservation policies.

Methodology: The method employed consists of a thorough analysis of the main scientific publication platforms and databases to compile relevant information on deforestation in the Legal Amazon. In addition, the research uses a systemic analysis to assess the future of deforestation.

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: silveira.gomes@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-5177-536X>

² Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. E-mail: lff@cce.ufsc.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3327-9170>

³ Instituto Tecnológico Vale (ITV), Belém, Pará, Brasil. E-mail: caiocastro.eng@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9147-8162>

⁴ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: gledson.castro@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3126-6720>

⁵ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: alex.zissou@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4519-3259>

⁶ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: edson.andrade@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4519-3259>

⁷ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: emerson.morais@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-2771-9014>

⁸ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: pedro.campos@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8476-5569>

⁹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: felipe.almeida@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7732-6955>

¹⁰ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: paulo.farias@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9212-8957>

¹¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: otavio.chase@ufra.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0246-8339>



Results and Conclusion: The results highlight the critical areas of deforestation in the region, identifying extensive farming and illegal mining as the predominant factors. The temporal analysis projects an increase in deforestation if these activities persist. The alternatives proposed include models of sustainable agriculture, with an emphasis on preserving agrobiodiversity. The research concludes by highlighting the urgent need for more effective public policies, especially in the illegal mining sector.

Research Implications: The implications of this research address the urgency of measures to tackle deforestation in the Legal Amazon, including the promotion of sustainable agricultural practices. It also highlights the need for more effective public policies, especially in relation to illegal mining, which is recognized as a high-impact activity.

Originality/Value: The originality of this research lies in its comprehensive approach, integrating a literature review with a temporal analysis, and proposing sustainable solutions. It contributes to understanding the challenges faced in the Legal Amazon, presenting viable directions for conservation and sustainable management, emphasizing the importance of comprehensive and effective public policies.

Keywords: Legal Amazon, Deforestation, Systemic Vision, Sustainability.

RUMO À SUSTENTABILIDADE DA AMAZÔNIA: UMA ANÁLISE E ABORDAGEM SISTÊMICA E PROPOSTAS PARA COMBATER O DESMATAMENTO

RESUMO

Objetivo: O objetivo desta pesquisa é realizar uma revisão abrangente da literatura, focalizando no período de 1988 a 2022, para analisar sistemicamente as principais atividades antrópicas responsáveis pelo desmatamento na Amazônia Legal do Brasil.

Referencial Teórico: O referencial teórico desta pesquisa se baseia na literatura existente sobre o desmatamento na Amazônia, abrangendo conceitos relacionados a atividades antrópicas, impactos ambientais, e políticas de conservação.

Método: O método empregado consiste em uma análise minuciosa das principais plataformas de publicações científicas e bases de dados para compilar informações relevantes sobre o desmatamento na Amazônia Legal. Além disso, a pesquisa utiliza uma análise sistêmica para avaliar o futuro do desmatamento.

Resultados e Conclusão: Os resultados destacam as áreas críticas de desmatamento na região, identificando a agropecuária extensiva e a mineração ilegal como fatores predominantes. A análise temporal projeta o aumento do desmatamento se essas atividades persistirem. As alternativas propostas incluem modelos de agricultura sustentável, com ênfase na preservação da agrobiodiversidade. A pesquisa conclui destacando a necessidade urgente de políticas públicas mais eficazes, especialmente no setor da mineração ilegal.

Implicações da Pesquisa: As implicações desta pesquisa abordam a urgência de medidas para enfrentar o desmatamento na Amazônia Legal, incluindo a promoção de práticas agrícolas sustentáveis. Além disso, destaca a necessidade de políticas públicas mais efetivas, especialmente em relação à mineração ilegal, reconhecida como uma atividade de alto impacto.

Originalidade/Valor: A originalidade desta pesquisa reside na sua abordagem abrangente, integrando uma revisão da literatura com uma análise temporal, e propondo soluções sustentáveis. Contribui para a compreensão dos desafios enfrentados na Amazônia Legal, apresentando direções viáveis para conservação e gestão sustentável, enfatizando a importância de políticas públicas abrangentes e eficazes.

Palavras-chave: Amazônia Legal, Desmatamento, Visão Sistêmica, Sustentabilidade.



RUMBO A LA SOSTENIBILIDAD EN LA AMAZONÍA: UN ENFOQUE SISTÉMICO Y PROPUESTAS PARA COMBATIR LA DEFORESTACIÓN

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de esta investigación es realizar una revisión exhaustiva de la literatura, centrándose en el período de 1988 a 2022, para analizar sistemáticamente las principales actividades antropogénicas responsables de la deforestación en la Amazonía Legal brasileña.

Referencia teórica: El marco teórico de esta investigación se basa en la literatura existente sobre deforestación en la Amazonía, abarcando conceptos relacionados con actividades antropogénicas, impactos ambientales y políticas de conservación.

Metodología: El método empleado consiste en un análisis exhaustivo de las principales plataformas de publicaciones científicas y bases de datos para recopilar información relevante sobre la deforestación en la Amazonía Legal. Además, la investigación utiliza un análisis sistémico para evaluar el futuro de la deforestación.

Resultados y Conclusión: Los resultados resaltan las áreas críticas de deforestación en la región, identificando la agricultura extensiva y la minería ilegal como los factores predominantes. El análisis temporal proyecta un aumento de la deforestación si estas actividades persisten. Las alternativas propuestas incluyen modelos de agricultura sostenible, con énfasis en la preservación de la agrobiodiversidad. La investigación concluye destacando la urgente necesidad de políticas públicas más efectivas, especialmente en el sector de la minería ilegal.

Implicaciones de la investigación: Las implicaciones de esta investigación abordan la urgencia de medidas para abordar la deforestación en la Amazonía Legal, incluida la promoción de prácticas agrícolas sostenibles. También resalta la necesidad de políticas públicas más efectivas, especialmente en relación con la minería ilegal, que es reconocida como una actividad de alto impacto.

Originalidad/Valor: La originalidad de esta investigación radica en su enfoque integral, integrando una revisión de la literatura con un análisis temporal y proponiendo soluciones sostenibles. Contribuye a comprender los desafíos que enfrenta la Amazonía Legal, presentando direcciones viables para la conservación y el manejo sostenible, enfatizando la importancia de políticas públicas integrales y efectivas.

Palabras clave: Amazonía Legal, Deforestación, Visión Sistémica, Sostenibilidad.

RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1 INTRODUCTION

The Amazon, a region of global notoriety, is endowed with unique biodiversity and plays a unique role in the environmental context (Alfaro, 2014; Ellwanger et al., 2020; Rodrigues, 1989). Although this region is rich in potential, there is still much to be explored and optimized in its vast heritage (Trindade et al., 2022).

However, in recent decades, this region has faced challenges arising from various human activities, including the disorderly expansion of agriculture, logging, illegal mining, among others (Castro & Pinto, 2018; Gomes et al., 2019). The alarming increase in deforestation in recent years raises worrying prospects (Galúcio & Prudente, 2019). Without



direct measures by 2050, the Amazon rainforest is at risk of reaching a point of irreversible decline (Gomes et al., 2019).

Recently, there has been an increase in awareness about the importance of environmental preservation in the Amazon and the urgent need to effectively combat deforestation in the region (Waroux et al., 2019). Numerous legal and social motivations highlight the importance of ensuring the maintenance of the forest and the balanced use of its resources, principles guaranteed in the country's current Federal Constitution (Brazil, 1988).

However, the actions resulting from these public policies have had limited results, with deforestation persisting as a significant threat to the Amazon in Brazil (Carvalho et al., 2019). The use of modern techniques, such as database studies and time series analysis, is crucial for understanding and seeking solutions to environmental issues, representing a viable alternative to assist in the preservation of the Amazon in Brazil (Santos et al., 2020 ; Zissou et al., 2020).

Given this scenario, the present work proposes to carry out a systemic analysis, based on a comprehensive review of data and literature on deforestation in the Brazilian Amazon, in the significant period between the promulgation of the current Federative Constitution in 1988 and the year 2022. The objective is to systemically analyze the main anthropogenic activities that contribute to deforestation, considering local contexts, in order to highlight specific priority areas and points for preservation actions.

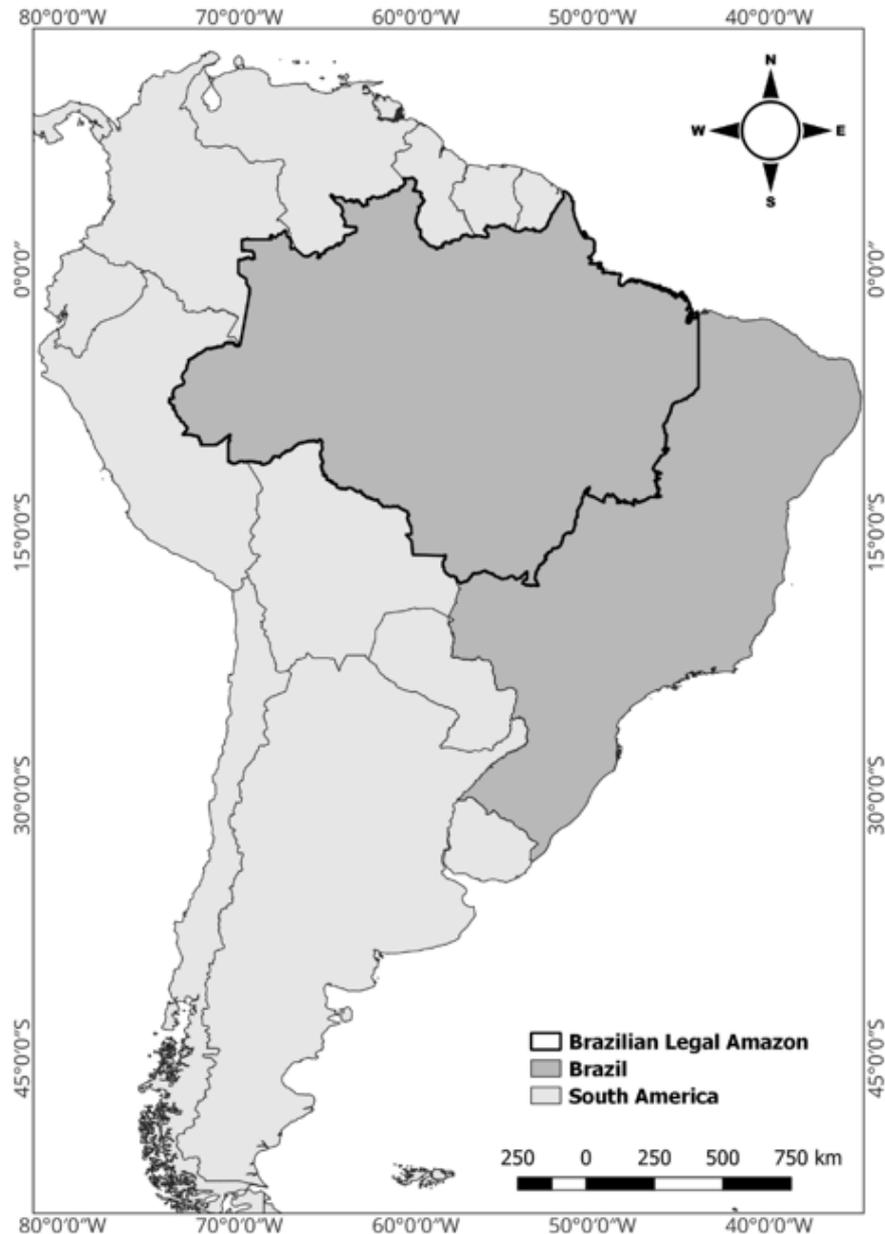
2 MATERIAL AND METHODS

The region known as the Brazilian Amazon, or Legal Amazon, as illustrated in Figure 1, covers an area of 5,217,423 km², representing approximately 61% of the Brazilian territory (Brazil, 2007b). As mentioned previously, this vast area comprises nine Brazilian states: Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima and Tocantins (Brasil, 2007ab).



Figure 1

Location Map of the Legal Amazon.



Source: Own preparation, data obtained from the MAPBIOMAS 8.0 collection (SEEG, 2023).

2.1 COLLECTION AND CURATION OF DEFORESTATION DATA

This scientific research aimed to analyze recent data, employing queries in digital databases with a defined interval between the years 1988 and 2022. In addition, data were acquired from the Project for Monitoring Deforestation in the Legal Amazon by Satellite (PRODES) of the Government of Brazil. The procedures adopted followed established



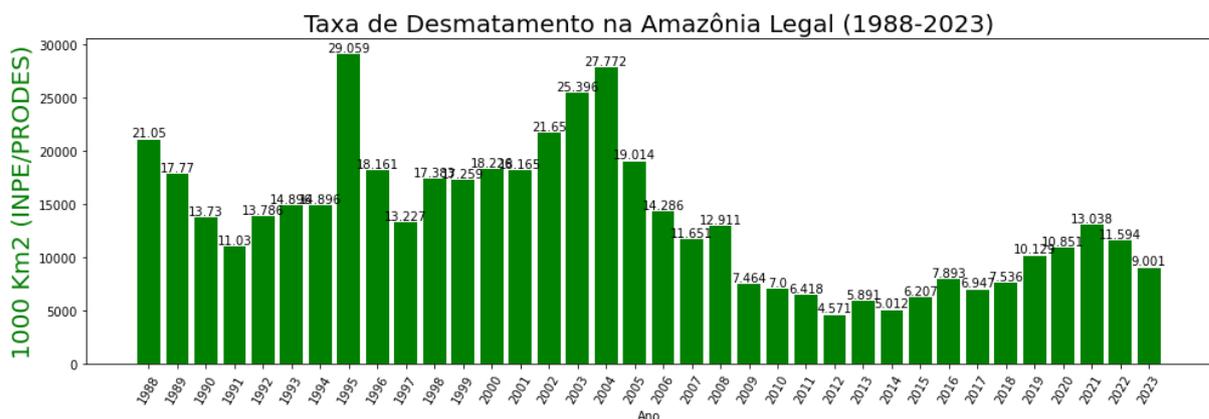
methodologies in database studies (Bittencourt & Paula, 2012; Gomes et al., 2018; Sombra et al., 2020; Trindade et al., 2022; Zissou et al., 2021).

Data curation was carried out in Python programming language to ensure the quality of information in this study. Digital curation is crucial to guarantee the integrity and preservation of data in research, especially in a context of increasing dependence on digital technologies (Sayão & Sales, 2012). It covers data management from collection to long-term preservation, aiming to ensure its reliability and usefulness. In this context, this research seeks to systematize and make available data on deforestation in the Brazilian Amazon.

When exploring deforestation in the Brazilian Amazon using data provided by PRODES, significant variations in rates are observed over the period from 1988 to 2023, as shown in Figure 2.

Figure 2

Deforestation rates in the Legal Amazon, from 1988 to 2023



Source: Own preparation, data obtained from the PRODES system (PRODES, 2024).

Furthermore, it is evident that, since the beginning of this historical series expressed in km², there has been a decrease in deforestation rates in the Brazilian Amazon in recent years, especially since the second half of the 2000s (from 2005 onwards). Initially, rates were around 21,000 km² in 1988, but from 2005 onwards, they remained consistently below 20,000 km², showing variations, and reaching their minimum value in 2012, with the rate expressed at around 4,600 km². In 2023, the deforestation rate was 9,001 km², the lowest value since 2019.

In summary, in recent years, deforestation in the Brazilian Amazon has reduced significantly, recording a decrease of almost 10,000 km², from 21,100 km² at the beginning of the series in 1988 to around 11,600 km² in 2022, a drop of approximately 45%. However, it is clear that these values are still not considered acceptable in terms of environmental preservation



of a biome as crucial as the Amazon. Desirably, rates should decline further, ideally approaching values close to zero. The perception of deforestation rates becomes more evident, with an accumulated value of deforestation, which continues to evolve from 1988 to 2023, as shown in Figure 3.

Figure 3

Accumulated deforestation in the Legal Amazon, from 1988 to 2023



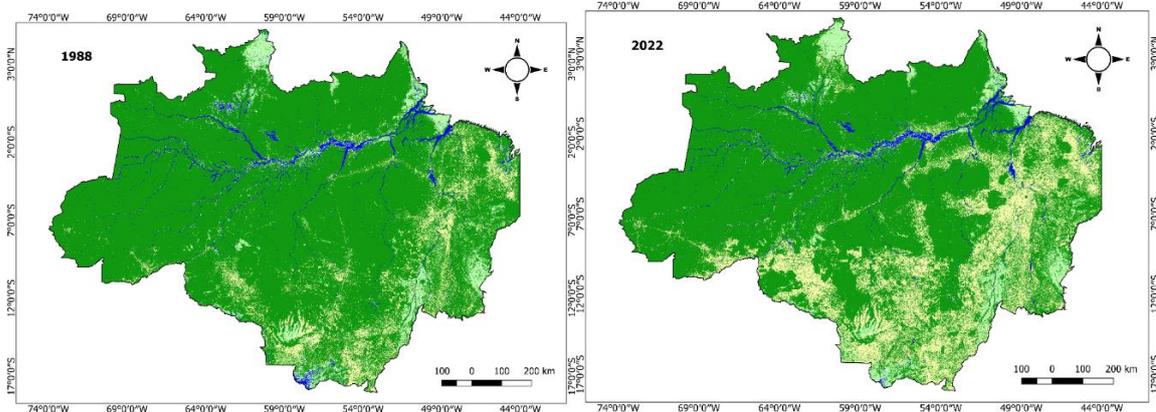
Source: Own preparation, data obtained from the PRODES system (PRODES, 2024).

From the end of the 20th century to the beginning of the 21st century, the Amazon has been the scene of a series of significant social and economic transformations, largely driven by territorial occupation policies promoted by the Brazilian government. These policies, initially designed to promote economic development and national integration, encouraged intense migratory flows to the region, traditionally seen as a "demographic void" (Hogan, 1997). The consequence was an accelerated expansion of the agricultural frontier and a substantial increase in deforestation, with more than 490,870 km² of Amazon forest lost between 1988 and 2023, as indicated in the data analyzes represented in Figures 2 and 3. Figure 4 presents a comparison between the area deforested in 1988 (21,050 km²) and in 2022 (481,869 km²) in the Legal Amazon.



Figure 4

Comparison between the deforested area in 1988(a) and 2022(b) in the Legal Amazon –



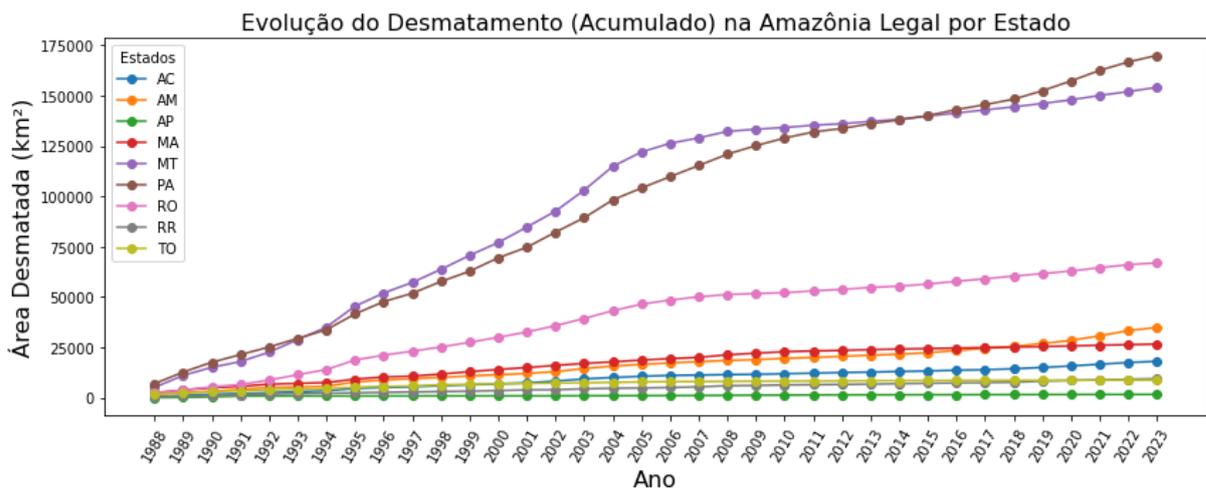
(a) Deforested area of the Legal Amazon in 1988: 21,050 km²

(b) Deforested area of the Legal Amazon in 2022: 481,869 km²

Source: Own preparation, data obtained from the MAPBIOMAS 8.0 collection (SEEG, 2023).

Figure 5

Accumulated deforestation in the Legal Amazon, from 1988 to 2023



Source: Own preparation, data obtained from the PRODES system (PRODES, 2024).

It is observed that the states of Pará and Mato Grosso have alternated in leadership, presenting the highest deforestation rates since the beginning of the series analyzed (1988-2023). Together with Amazonas, which has gained prominence in recent years, these states correspond to the largest in the region and in Brazil. These high rates reflect geographic, social and political factors specific to each state. Table 1 presents a ranking of deforestation by states in the Legal Amazon.



Table 1

Ranking of deforestation by states in the Legal Amazon

Ranking	State	Accumulated Deforestation (1988 to 2023)	Percentage of Deforestation
1°	PA	170046 Km ²	34,6%
2°	MT	154164 Km ²	31,4%
3°	RO	66976 Km ²	13,6%
4°	AM	34937 Km ²	7,1%
5°	MA	26659 Km ²	5,4%
6°	AC	18105 Km ²	3,6%
7°	RR	9485 Km ²	1,9%
8°	TO	8816 Km ²	1,7%
9°	AP	1682 Km ²	0,3%
	TOTAL	490.870 Km ²	100%

Source: Own preparation, data obtained from the PRODES system (PRODES, 2024)

In Table 1, it is notable that the states of Pará and Mato Grosso are responsible for 66% of deforestation in the Legal Amazon. These states, as well as others in the Brazilian Amazon, have experienced considerable population growth in recent years (IBGE, 2023) and investments in the areas of mining and agriculture. The relationship between decreasing native forest areas and population growth highlights the complexity of the Amazon region, not only as a rich ecosystem, but also as a home to human populations. Studies of this type must necessarily consider these anthropogenic factors.

As for the states with the lowest deforestation rates, Amapá, Roraima and Tocantins stand out, each with rates below 2%. This preservation is the result of factors such as more recent population movements, since these states are more recent in terms of creation in Brazil. Its areas are still preserved, in part, due to the reduced population and limited anthropogenic actions. Effective local environmental preservation policies also contributed to the maintenance of these areas.

The results indicate a reduction in intensive and harmful activities in the region, showing that practices traditionally considered harmful, such as agriculture, have evolved over time, assuming less aggressive configurations. Activities such as integration between crops, agriculture and forestry (ILPF) have become more common.

In the context of agriculture, there is a need to use resources sustainably, highlighting the importance of agrobiodiversity, which refers to the richness of biodiversity present in agricultural systems (Santilli, 2009; Frausin et al., 2020). The adoption of modern agricultural techniques, such as the consortium of agricultural activities with environmental preservation, emerges as a solution for the production of inputs and the well-being of local, regional and global populations (CONAB, 2007).



It is crucial to highlight that agriculture or agribusiness are not the most harmful activities in the region, compared to others, such as illegal mining (Mataveli et al., 2023). Currently, agriculture in the region seeks to be sustainable, adopting less harmful models, becoming an important source of income and development. When managed properly, it can be an ally of development and preservation in the region (Martorano, 2016).

The data presented contribute significantly to a better understanding of deforestation and agrobiodiversity in the Amazon region. According to Trindade et al. (2022), studies that provide databases are fundamental for understanding these and other issues in the region and the country.

2.2 TOOLS FOR DATA ANALYSIS

In view of the above, a predictive analysis of the deforestation data presented was carried out with the Prophet package for time series analysis, the objective of which is to estimate the advancement of deforestation in the Legal Amazon until the year 2050. Prophet, developed by the research team at Facebook is especially suited to predicting data trends, which makes it ideal for analyzing and projecting deforestation, a phenomenon influenced by seasonal economic, political and social variables. The package is available in the Python and R programming languages (Taylor & Letha, 2023).

The Prophet Package operates based on a decomposable additive model for time series forecasting, where the modeling is done considering that the observed data can be explained by the sum of several components, including trends, seasonality and holidays or special events. Mathematically, the model can be described as:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon t \quad (1)$$

Being:

$y(t)$ represents the forecast for the instant t ,

$g(t)$ is the trend function that models non-periodic changes in data,

$s(t)$ represents periodic changes (seasonality),

$h(t)$ covers the effects of specific holidays or events, and

ϵt is the model error, assuming it is normally distributed noise.



The trend component, $g(t)$, is typically modeled using linear or logistic growth functions, allowing Prophet to adjust for different growth patterns in the data over time. For seasonality, $s(t)$, Prophet uses the Fourier transform to capture seasonal patterns on multiple time scales, which is particularly useful for data with multiple seasonal frequencies. The $h(t)$ component, in turn, is modeled by adding a specific effect for each holiday or event, allowing the model to capture specific impacts that these occasions may have on the data.

Additionally, Prophet makes it easy to include changepoints in the trend function, allowing the model to adapt to abrupt changes in the data trajectory. This flexibility is crucial for modeling time series of messaging platforms, where unexpected events can cause significant variations in message volume. The combination of these features makes Prophet a powerful and flexible tool for time series forecasting, capable of adjusting and predicting complex dynamics in temporal data, such as deforestation dynamics.

To understand the dynamics of deforestation in the Legal Amazon, it was crucial to analyze how different economic activities influence the loss of forest cover. Among these activities, the growth of cattle herds, the expansion of pasture areas, soybean cultivation and mining are often cited as the main drivers of deforestation in the Legal Amazon. To investigate the relationships between these factors and deforestation, correlation analyses, specifically using the Pearson coefficient, were employed. The use of Pearson's correlation coefficient, when analyzing the drivers of deforestation in the Legal Amazon, offers valuable insights for understanding and combating deforestation, highlighting the importance of integrated approaches that consider the complexity of interactions between human activities and the environment .

Using deforestation data and predictive analysis, it is possible to have a view of the whole from a systemic perspective that encompasses the environmental, economic and social domains in its analyzes and proposed solutions for the decline in the deforestation rate. Systemic analysis allows us to identify and understand the connections and feedbacks between different components of the Amazon system. For example, deforestation is not just an environmental issue; it is deeply intertwined with economic factors, such as the demand for land for agriculture and livestock, and with social aspects, including poverty, inequality and governance. Thus, interventions that only target the environmental aspect, without considering the economic and social dimensions, are doomed to failure or generating unintended consequences.

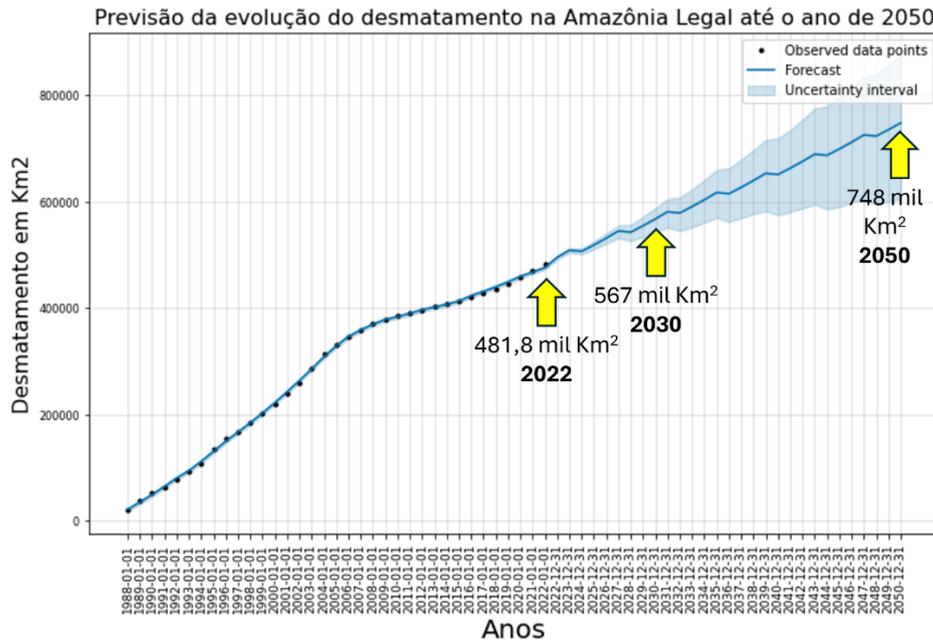


3 RESULTS AND DISCUSSION

Based on the data curation, a prediction of deforestation in the Legal Amazon until the year 2050 was made, using the Prophet time series package, as shown in Figure 6.

Figure 6

Prediction of the advancement of deforested area in the Legal Amazon, until the year 2020



Source: Own preparation, data obtained from the PRODES system (PRODES, 2024).

Even with a 45% drop in deforestation rates in the 2010s, as shown in Figure 2, if rates remain in the range between 10 thousand km² and 20 thousand km² per year, the forecast is that in 2030 the deforested area will be approximately of 567 thousand km² and in 2050 it will be approximately 748 thousand km².

This forecast reflects the trajectory of exploitation and environmental loss that began to have palliative solutions only from 2005 onwards, thanks to a set of interconnected factors. The promulgation of Brazil's federal constitution in 1988 (Brazil, 1988), by ensuring environmental preservation as a fundamental right, signaled a new phase in the country's relationship with its natural resources. This, combined with the stabilization of population growth and the adoption of stricter inspection policies from the perspective of the new Brazilian forestry code (Brazil, 2012), began to slow the advance of deforestation.

The technological revolution also plays a crucial role in this paradigm shift. The use of satellite images for environmental monitoring, together with the dissemination of information



via the internet, has allowed for more effective monitoring and greater public awareness of the challenges faced by the Amazon. These technological advances, combined with greater international and local pressure for sustainable development practices, have contributed significantly to efforts to reduce deforestation in the region.

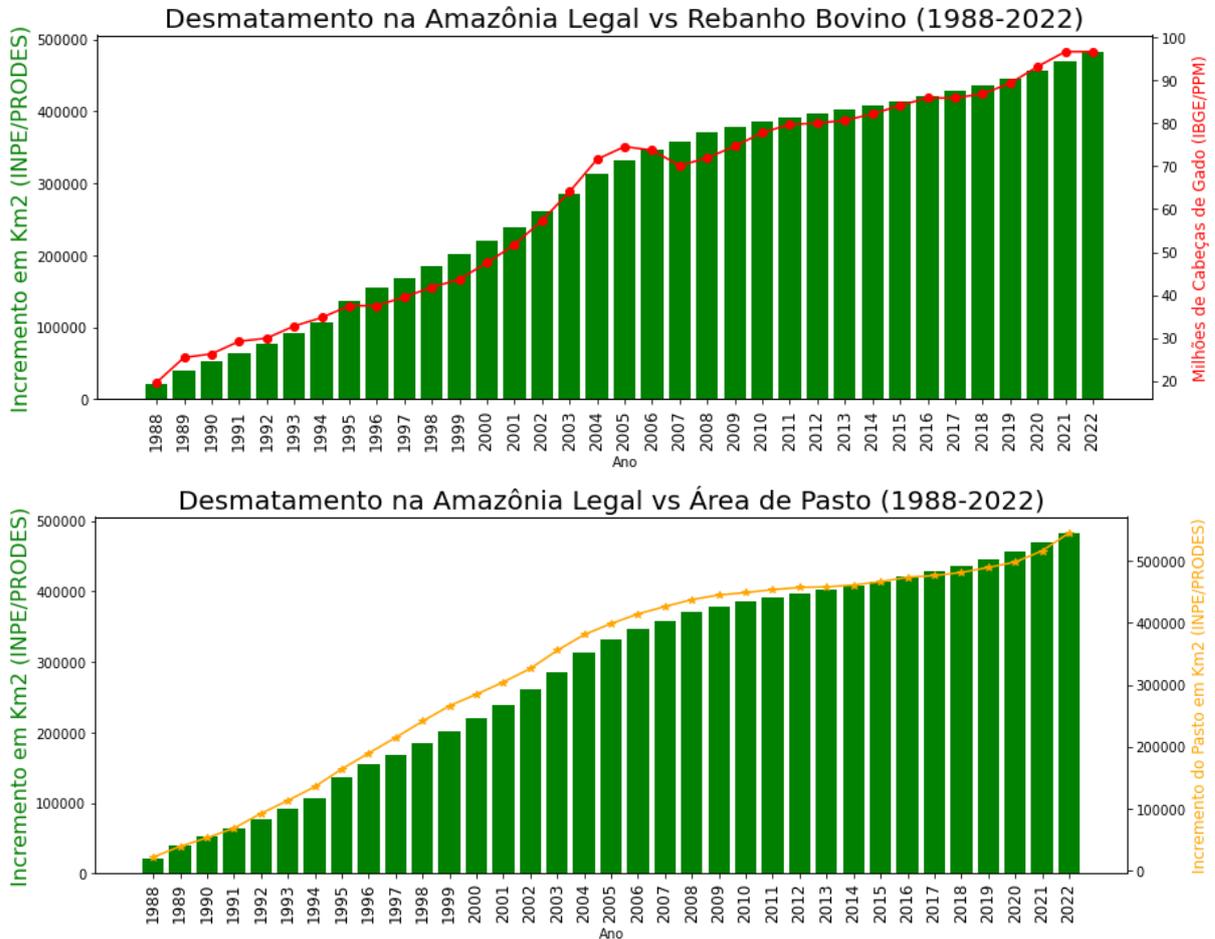
In 2023, the deforestation rate was 9 thousand km², a victory that demands continuous effort, towards a zero deforestation rate in the Legal Amazon by 2030. The fight to achieve a zero deforestation rate in the Legal Amazon is more than a issue of environmental preservation; It is a matter of global urgency that is rooted in the survival of critical ecosystems, mitigating climate change, and safeguarding biodiversity and the livelihoods of millions of people. The objective of completely eliminating deforestation in the region is vital to prevent the Amazon from reaching the so-called point of no return, a stage in which environmental degradation becomes irreversible and the biome can no longer sustain itself, leading to the collapse of its ecosystem.

To achieve zero deforestation, it is important that pasture areas, soybean planting and mining are regulated more vigorously so that they do not increase the area of deforestation in the Legal Amazon. Legislation more focused on the number of cattle herds is also necessary, as 43% of the cattle herd is concentrated in the Amazon biome (SEEG, 2023). Figure 7 shows the evolution of deforestation compared to the increase in cattle herds and the advancement of pasture and mining areas.



Figure 7

Relationship between the increase in cattle herds and pasture area and deforestation in the Legal Amazon.



- (a) In 2022, the cattle herd reached 96 million heads.
 - (b) In 2022, the pasture area reached an area of approximately 545 thousand km².
- Source: Own preparation, data obtained from the PRODES system (PRODES, 2024) and PPM (IBGE, 2024).

In recent decades, the conversion of forests into pastures has reached alarming levels in some of the main states in the Amazon region, as shown in Figure 7. Leading this transformation, the state of Pará recorded the conversion of approximately 185 thousand km² of forest into pasture areas. Following closely, Mato Grosso saw a change of around 155 thousand km² of its forest territory to pastures. Rondônia, with a transformation of 74 thousand km², Maranhão, with 54 thousand km², and Tocantins, with 45 thousand km², are also among the states with the largest converted areas. These numbers highlight a worrying trend of deforestation in the Legal Amazon, highlighting growing pressure on these vital ecosystems.

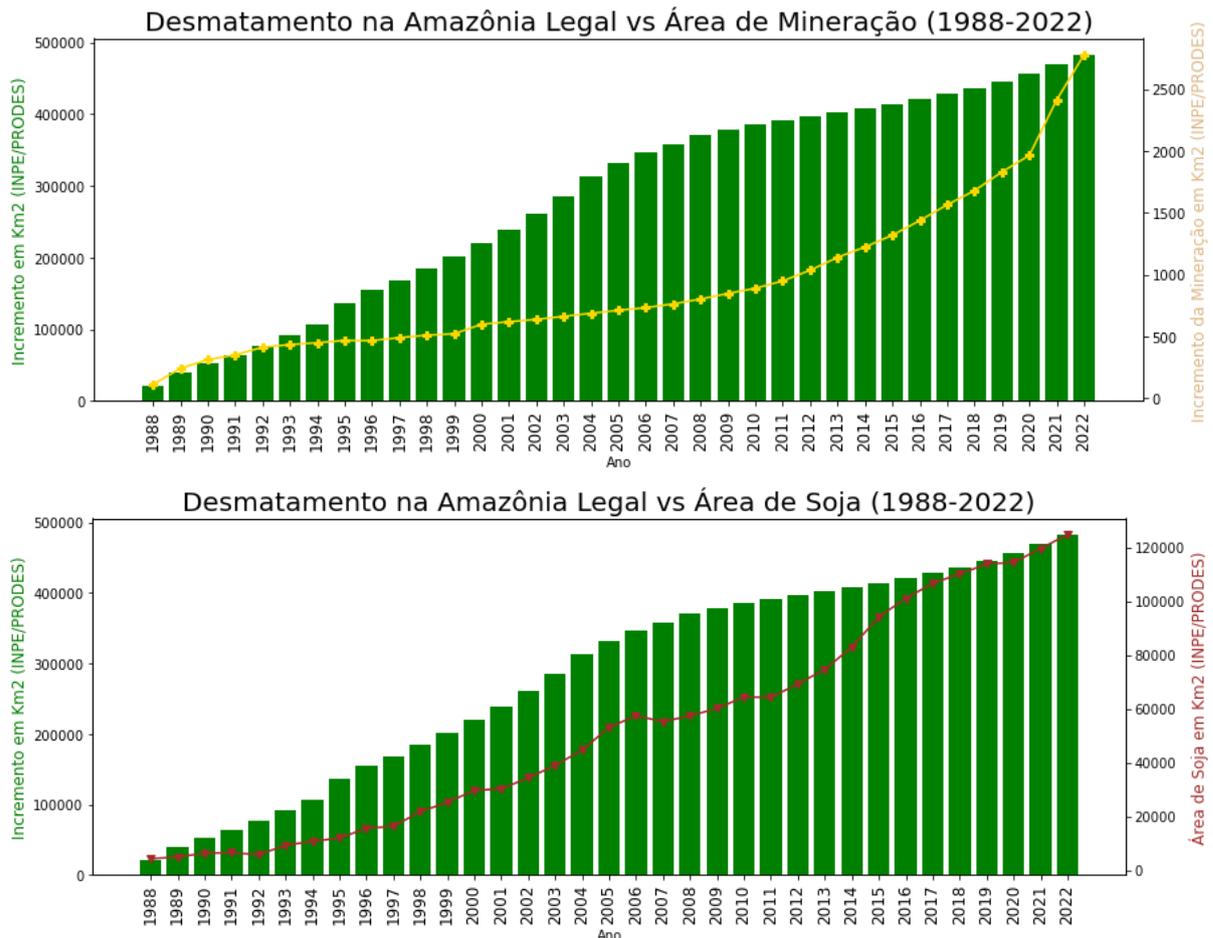
The uncontrolled expansion of soybeans and mining activities have been two of the main drivers of deforestation in the Legal Amazon, bringing with them significant impacts on both



the environment and local communities. Figure 8 shows the evolution of deforestation compared to the advancement of mining and soybean plantation areas in the Legal Amazon.

Figure 8

Relationship between the advancement of mining and soybean areas and deforestation in the Legal Amazon.



(a) In 2022, the mining area reached an area of approximately 3.14 thousand km².

(b) In 2022, the soybean area reached an area of approximately 130 thousand km².

Source: Own preparation, data obtained from the PRODES system (PRODES, 2024) and PPM (IBGE, 2024)

Soy, in particular, has been a vector of transformation of the Amazon landscape, with vast areas of forest being cut down to make way for extensive monocultures. This conversion not only results in the direct loss of biodiversity, but also alters hydrological and carbon cycles, contributing to global climate change. Furthermore, the intensive agriculture model associated with soy production often leads to soil degradation, reducing its fertility and limiting the land's future use capacity.

On the other hand, mining in the Legal Amazon has caused deforestation and contamination of rivers and soil, affecting the health and way of life of indigenous and local

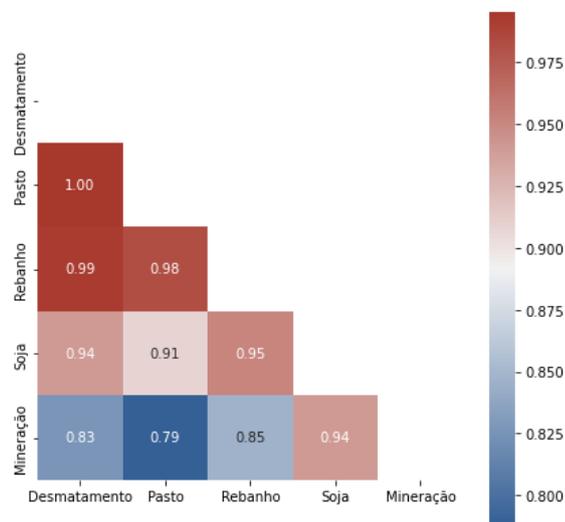


populations. The extraction of mineral resources involves the removal of vegetation cover and the use of toxic chemicals, such as mercury, which pollute waterways and food chains. In addition to environmental impacts, mining often leads to social conflicts, displacement of communities and human rights violations, exacerbating social and economic inequalities in the region.

Figure 9 presents the Pearson correlation matrix applied to the predictor variables (cattle herd, pasture area, mining area and soybean area) with deforestation in the Legal Amazon.

Figure 9

Pearson correlation matrix relating deforestation in the Legal Amazon with the number of cattle herds, pasture area, mining area and soybean area ($R^2=0.99$).



Source: Own preparation, data obtained from the PRODES system (PRODES, 2024) and PPM (IBGE, 2024).

From the interpretation of Figure 9, the strong correlation between deforestation data and data on cattle herds (0.99), pasture area (1.00), mining area (0.83) and soybean area (0.94) is notable. The expansion of soybeans and mining activities have been two of the main drivers of deforestation in the Legal Amazon, bringing with them significant impacts on both the environment and local communities.

These activities, therefore, represent significant challenges for the sustainability of the Legal Amazon, requiring integrated policies that promote economic development combined with environmental conservation and social justice. The implementation of sustainable agricultural practices, effective enforcement against illegal deforestation and the promotion of economic alternatives for local communities are essential to mitigate the negative impacts of soy and mining and to ensure the preservation of this crucial biome for the planet.



Thus, the Amazon experience highlights the need for systemic approaches that recognize and integrate the complex interdependencies between the environment, economy and society. Through an analysis that considers both historical factors and contemporary innovations, it is possible to identify strategies that promote sustainable development, ensuring the preservation of natural resources vital to the future of the planet and the well-being of future generations.

The relationship between the environment, economy and society is intrinsically complex and multifaceted, reflecting a system in which actions in one sphere can have profound and often unpredictable effects on others. The recent history of the Brazilian Amazon vividly illustrates this systemic dynamic, revealing how the interaction between economic development, public policies and environmental conservation can shape the destiny of one of the most important biomes in the world.

3.1 SYSTEMIC SOLUTIONS FOR REGULATION OF CATTLE HERD AND PASTURE AREA

Controlling the advancement of cattle herds and pasture areas in the Legal Amazon requires a systemic approach that addresses the underlying causes of deforestation and promotes sustainable soil and animal management practices. These solutions must integrate environmental, economic and social considerations to be effective and sustainable in the long term. Here are some strategies that can be implemented:

1. **Sustainable Intensification of Livestock:** Promote sustainable intensive management techniques that increase livestock productivity per area, thus reducing the need for pasture expansion. This includes improving feed quality, animal health programs and genetic improvement;
2. **Recovery of Degraded Areas:** Encourage the recovery of degraded pastures through soil management and revegetation techniques, making these areas productive again and reducing the pressure for new deforestation areas;
3. **Agroforestry and Silvopastoral Systems:** Encourage the adoption of agroforestry and Silvopastoral systems that integrate trees, agricultural crops and livestock in the same area. These systems can increase biodiversity, improve soil and water quality, and provide multiple sources of income for farmers;
4. **Product Certification:** Develop and promote certification systems for meat and other products derived from livestock, which ensure sustainable and traceable production



practices, thus encouraging the market to prefer products that do not contribute to deforestation;

5. **Public Policies and Tax Incentives:** Implement public policies and tax incentives that favor sustainable livestock farming and penalize management practices that lead to deforestation. This could include higher taxes for large deforesters and subsidies or credits for producers who adopt sustainable practices;
6. **Monitoring and Inspection:** Strengthen monitoring and inspection of land use, using cutting-edge technology such as satellite images to identify illegal deforestation and unauthorized expansion of pastures;
7. **Education and Training:** Provide technical training and environmental education for livestock farmers on sustainable livestock and soil management practices, highlighting the long-term economic and environmental benefits;
8. **Participation and Dialogue with Local Communities:** Involve local communities, including indigenous peoples and small producers, in planning and implementing sustainable practices, ensuring that their needs and knowledge are considered;
9. **Research Promotion:** Support research into sustainable management practices, animal genetics for productive efficiency, and development of value chains that promote sustainability.

By adopting these strategies within a systemic approach, it is possible to reconcile livestock production with environmental conservation in the Legal Amazon, thus contributing to the sustainability of the biome, global climate stability and the socioeconomic development of the region.

3.2 SYSTEMIC SOLUTIONS FOR REGULATION OF MINING AND SOY AREAS

To face the unbridled advance of the soybean area and mining activities in the Legal Amazon, it is essential to adopt a systemic approach that considers the interconnections between the environment, economy and society. These solutions must be multifaceted, encompassing public policies, technological innovations, economic incentives and the active participation of local communities. Here are some strategies that can be implemented to control the advancement of soy and mining in a sustainable way:

1. **Ecological-Economic Zoning (ZEE):** Implement and strictly respect the ZEE to direct agricultural and mining activities to less sensitive areas, minimizing environmental impact and protecting vital ecosystems;



2. **Certification and Traceability:** Promote certification systems for soy products and minerals that guarantee sustainable production and extraction practices. Traceability can help ensure that products sold do not contribute to new deforestation;
3. **Environmental Technologies:** Encourage the use of advanced technologies to increase the efficiency of soy production in areas already deforested, avoiding expansion into new forest areas. In mining, invest in less invasive and more sustainable techniques that reduce environmental impact;
4. **Economic Incentives:** Create economic incentives for sustainable practices, such as carbon credits, and disincentives for activities that lead to deforestation. This includes reviewing subsidies and tax policies that favor the advancement of agricultural frontiers and mining in forest areas;
5. **Strengthening Surveillance:** Increase the capacity of environmental agencies to monitor and supervise compliance with environmental legislation, using satellite monitoring technologies and geographic information systems (GIS);
6. **Education and Awareness:** Invest in environmental education programs and awareness campaigns for rural producers, mining companies and society in general about the importance of preserving the Amazon and the consequences of deforestation;
7. **Community Participation:** Involve local communities, indigenous peoples and small farmers in the decision-making process, valuing their traditional knowledge and promoting sustainable development models that economically benefit these populations;
8. **International Cooperation:** Seek international partnerships to finance conservation projects, research and development of sustainable practices in the region.

By adopting a systemic approach, recognizing the complexity of interactions between the different elements that make up the issue of deforestation in the Legal Amazon, it is possible to find balanced solutions that promote economic development, environmental conservation and social well-being.

These actions are in line with the conservation units (CU) in the Legal Amazon, they play an important socioeconomic role, supporting the subsistence of local and indigenous communities through the sustainable use of natural resources and ecological tourism. They are



also essential for scientific research, providing places to study biodiversity, ecological processes and the impacts of climate change.

Although Conservation Units in the Legal Amazon are vital for protecting biodiversity and ecosystem services, they face considerable challenges. Among them, illegal deforestation, predatory extraction of resources, forest fires and the expansion of economic activities that compromise environmental sustainability stand out. To overcome these obstacles, effective management and strict supervision of these areas are essential. This includes the implementation of robust public policies and the adoption of proposed solutions, which aim to conserve and sustainable use of natural resources. Furthermore, the engagement and participation of local communities in the management of these units is essential. These joint actions are crucial not only for the preservation of the Legal Amazon, but also for ensuring the well-being of future generations, maintaining the balance between environmental conservation and socioeconomic development.

4 CONCLUSION

The current study carries out a systemic analysis of deforestation in the Brazilian Amazon, offering an essential database for future investigations related to related topics. The complexity of the issue of deforestation in the Amazon involves several factors, from population growth to pressure for economic activities in the region. The observed data indicate, however, a significant reduction in deforestation in recent years.

It is crucial to continue raising awareness among the population about the importance of environmental preservation and seek solutions that promote economic development without causing damage to the environment. Furthermore, there is a growing need to raise awareness among new generations about the importance of environmental preservation, seeking harmony between social development and environmental conservation.

The systemic approach of this research reveals the complexity of deforestation in the Legal Amazon, highlighting the interconnection between anthropogenic activities, such as extensive farming and illegal mining, and their environmental impacts. By integrating a comprehensive literature review with a temporal analysis, the research projects future scenarios and emphasizes the urgency of effective public policies. The proposed sustainable alternatives are important to mitigate deforestation and promote the preservation of agrobiodiversity. Thus, the research contributes significantly to the understanding and sustainable management of the Legal Amazon.



Future research can explore specific issues in each of the states that make up the region, especially in those that still have the highest rates of deforestation. This would provide a deeper understanding of local dynamics and allow the development of more effective strategies for preserving the Amazon.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to express our deep gratitude to the Postgraduate Program in Agronomy (PGAGRO), the Federal Rural University of the Amazon (UFRA) and Prof. Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo, from NASDESIGN at the Federal University of Santa Catarina (UFSC) for his invaluable support and collaboration throughout this work. The contribution of these contributions was fundamental to the development and success of this study. We are grateful for the technical, academic and institutional support, as well as the learning and growth opportunities provided.

REFERENCES

- Alfaro, R. I., Fady, B., Vendramin, G. G., Dawson, I. K., Fleming, R. A., Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R. A., Murdock, T., Vinceti, B., Navarro, C. M., Skrøppa, T., Baldinelli, G., El-Kassaby, Y. A., & Loo, J. (2014). The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. *Forest Ecology and Management*, 333, 76-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.006>
- Bittencourt, L. A., & Paula, A. (2012). Análise cientiométrica de produção científica em unidades de conservação federais do Brasil. *Revista Enciclopédia biosfera*, 8(14). <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4020>
- Brasil. (1988). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm
- Brasil. (2007a). Lei 5173 - Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/15173.htm
- Brasil. (2007b). Saiba mais sobre a amazônia legal. Câmara dos Deputados do Brasil. Recuperado de <https://www.camara.leg.br/noticias/110168-saiba-mais-sobre-a-amazonia-legal/>
- Brasil. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm



- Carvalho, W. D., Mustin, K., Hilário, R. R., Vasconcelos, I. M., Eilers, V., Fearnside, P. M. (2019). Deforestation control in the Brazilian Amazon: A conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(3), 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.06.002>
- Castro, E., & Pinto, R. F. (2018). *Decolonialidade e sociologia na América Latina*. Belém-PA: NAEA: UFPA. Recuperado de <https://hal.science/hal-03088667/document>
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2009). *Agricultura e Abastecimento Alimentar: políticas públicas e mercado agrícola*. Brasília – DF: Conab.
- Ellwanger, J. H., Kulmann-Leal, B., Kaminski, V. L., Valverde-Villegas, J. M., Veiga, A. B., Spilki, F. R., Fearnside, P. M., Caesar, L., Giatti, L. L., Wallau, G. L., Almeida, S. E. M., Borba, M. R., Hora, V. P., & Chies, J. A. B. (2020). Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 92(1), e20191375. <http://doi.org/10.1590/0001-3765202020191375>
- Frausin, G., Brosler, E., & Bentes, L. (2020). *Maués, Amazonas-Brasil; Agrobiodiversidade e agricultura familiar*. Chicago IL, USA: Field Museum. Recuperado de fieldguides.fieldmuseum.org
- Galúcio, A. V., & Prudente, A. L. (Orgs.). (2019). *Museu Goeldi: 150 anos de Ciência na Amazônia*. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi.
- Gomes, J. M. S., Silva, A. S., Brito, S. R., Mata, E. C., Barroso, R. F. F., & Frances, C. R. L. (2018). Incidence of leprosy in the Brazilian Amazon region and its analogy in relation to Brazilian municipalities: A sociodemographic analysis using Bayesian networks. *International Journal of Development Research*, 08, 24189-24194.
- Gomes, V. H. F., Vieira, I. C. G., Salomão, R. P., & Ter Steege, H. (2019). Amazonian tree species threatened by deforestation and climate change. *Nature Climate Change*, 9, 547-553. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0500-2>
- Hogan, D. J. (1997). Mudança ambiental e o novo regime demográfico. In C. Cavalcanti (Org.), *Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas* (3ª ed., pp. 436). São Paulo, SP: Cortez Editora.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2023). *Amazônia Legal*. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2024). *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>
- Martorano, L. G., Siviero, M. A., Tourne, D. C. M., Vieira, S. B., Fitzjarrald, D. R., Vettorazzi, C. A., Brienza Junior, S., Yeared, J. A. G., Meyering, E., & Lisboa, L. S. S. (2016). Agriculture and forest: A sustainable strategy in the Brazilian Amazon. *Australian Journal of Crop Science*, 10(8), 1136-1143.



- Mataveli, G., Chaves, M., Guerrero, J., Escobar-Silva, E. V., Conceição, K., Oliveira, G. (2022). Mining is a growing threat within indigenous lands of the Brazilian Amazon. *Remote Sensing*, 14(16), 4092. <https://doi.org/10.3390/rs14164092>
- PRODES. (2024). Deforestation in Brazilian Amazonia. Recuperado de http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates
- Rodrigues, R. M. (1989). *A flora da Amazônia*. Belém, PA: CEJUP.
- Santilli, J. (2009). *Agrobiodiversidade e direitos dos agricultores*. São Paulo, SP: Editora Peirópolis LTDA.
- Santos, A. V. F., Anhê, B. B., Soares, J. A. C., Bastos, L. F., Lins, P. M. P., Farias, P. R. S., Batista, T. F. C., & Silva, A. G. (2020). Distribuição espaço-temporal da doença murchar-de-phytonomas em plantio de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) na Amazônia oriental. *International Journal of Development Research*, 10, 40437-40442. <https://dx.doi.org/10.37118/ijdr.19894.09.2020>.
- Sayão, L. F., & Sales, L. F. (2012). Curadoria digital: um novo patamar para a preservação de dados digitais de pesquisa. *Revista Informação & Sociedade*, 22(3), 179-191. <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/ies/article/view/12224>
- Scholar Google. (2023). Consulta à base de dados. Recuperado de <https://scholar.google.com.br>
- SEEG. (2023). MapBiomias Brasil. Recuperado de <https://brasil.mapbiomas.org/>
- Sombra, T. R., Santini, M. R., Morais, E. C., Couto, W. O., Zissou, A. J., Campos, P. S. S., Almeida, J. F. S., & Chase, O. A. (2020). Redes sociais científicas e inteligência artificial – uma revisão sistemática aplicada a reconhecimento de padrões. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 941-9954. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-030>
- Taylor, S. J., & Letham, B. (2023). Prophet: Automatic forecasting procedure. Disponível em <https://github.com/facebook/prophet>
- Trindade, J. R., Santos, J. U. M., & Gurgel, E. S. (2022). Estudos com plantas espontâneas no Brasil: uma revisão. *Research, Society and Development*, 11(7), e14111729700. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29700>
- Waroux, Y. L. P., Garrett, R. D., Graesser, J., Nolte, C., White, C., & Lambin, E. F. (2019). The restructuring of South American soy and beef production and trade under changing environmental regulations. *World Development*, 121, 188-202. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.05.034>
- Zissou, A. J., Farias, P. R. S., & Chase, O. A. (2020). Agribusiness in the Brazilian Amazonia: A general overview. *International Journal of Development Research*, 10, 41193-41197. <https://dx.doi.org/10.37118/ijdr.20286.10.2020>
- Zissou, A. J., Farias, P. R. S., & Chase, O. A. (2021). Modelo do Observatório do Conhecimento Amazônico de Agronomia (OBAMA): um meio para integração sustentável da produção agropecuária no estado do Pará. *International Journal of Development Research*, 11, 43195-43206. <https://dx.doi.org/10.37118/ijdr.20779.01.2021>