

O preço do progresso: O efeito das rodovias na degradação ambiental da Amazônica Brasileira

The price of progress: The effect of highways on environmental degradation in the Brazilian Amazon

Anderson Braga Barbosa
Universidade Federal Do Mato Grosso – UFMT
andersontop271@gmail.com

Dr. Vagner Paz Mengue
Universidade Federal Do Mato Grosso – UFMT
vagnergeo@yahoo.com.br

Dr. Cleberson Ribeiro De Jesuz
Universidade Federal Do Mato Grosso – UFMT
cleberufmt@gmail.com

Eduardo Ramos Moraes
Universidade Federal Do Mato Grosso – UFMT
ramosmoraese@gmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto de degradação ambiental entre os anos de 1985 a 2022 ao longo das principais rodovias no arco de desmatamento da Amazônia. A área de estudo está localizada na região Norte e Centro-Oeste do Brasil, conta com 49 municípios, e as rodovias analisadas neste estudo foram: BR-163, BR-230, BR-319, MT-206, MT-208, MT-418, BR-364 e RO-205. Assim, utilizou-se dados de desmatamento disponibilizados pelo INPE do projeto PRODES. Para este trabalho foram importados os dados de desmatamento acumulado de 1985 a 2007 e desmatamento anual do período de 2008 a 2022. Foram utilizados 38 mapas anuais de cobertura e uso da terra do Projeto MapBiomas. Como principais resultados o desmatamento acumulado por rodovia, a BR-230 (transamazônica), a BR-319 e a BR-163, apresentaram taxas elevadas de desmatamento, como no caso da BR-230 com 494,03 % nos últimos oito anos.

Palavras-chave: Desmatamento, Mudanças de uso e cobertura da terra, PRODES, Rodovias.

Abstract

The objective of this study is to evaluate the impact of environmental degradation from 1985 to 2022 along the main highways in the deforestation arc of the Amazon. The study area is located in the Northern and Central-Western regions of Brazil, encompassing 49 municipalities. The highways analyzed in this study include BR-163, BR-230, BR-319, MT-206, MT-208, MT-418, BR-364, and RO-205. Deforestation data provided by INPE's PRODES project were utilized. The accumulated deforestation data from 1985 to 2007 and annual deforestation data from 2008 to 2022 were imported for this work. Thirty-eight annual land use and land cover maps from the MapBiomas project were

used. The main findings indicate that, in terms of accumulated deforestation by highway, BR-230 (Transamazon Highway), BR-319, and BR-163 exhibited high deforestation rates, with BR-230 showing a 494.03% increase in deforestation over the last eight years.

Keywords: Deforestation, Changes in land use and cover, PRODES, Highways.

Introdução

A partir da década de 1970, a ocupação da Amazônia tornou-se uma prioridade para o governo brasileiro (Becker, 1990). O governo federal começou a facilitar e subsidiar a ocupação de terras visando à expansão “pioneira” (Gonçalves, 2005). Essas políticas de ocupação buscaram integrar iniciativas de exploração econômica com estratégias geopolíticas (Costa, 1997). Um dos principais vetores de desmatamento na região da Amazônia é por meio da abertura de estradas como apontam os estudos de Nepstad et al. (2002) e Lamb et al. (2005) que analisaram as principais forças direcionadoras do processo de desmatamento em florestas tropicais.

Conforme demonstra o estudo de Nepstad et al. (2014) que a partir dos anos 1970, o desmatamento da Amazônia aumentou significativamente, resultado da pressão por novas áreas de produção agrícola e pecuária. Além disso, o incentivo à mineração atraiu grandes empresas e promoveu o avanço sobre áreas de preservação e terras indígenas, gerando conflitos sociais e ambientais (Almeida, 1992).

Nessa mesma época, o governo militar implementou políticas de ocupação territorial, destacando-se a construções das Rodovias BR-230 (Transamazônica), BR-319 (Porto Velho - Manaus), BR-163 (Cuiabá - Santarém) e BR-364 (São Paulo - Acre). Essa infraestrutura incentivou a migração em massa para a região, resultando na exploração intensa de seus recursos naturais (Fearnside, 2005).

Compreender e analisar a dinâmica das principais rotas que atravessam o bioma amazônico constitui um elemento central para a interpretação dos processos históricos e contemporâneos de ocupação territorial da região. Essas rotas, sejam elas fluviais, terrestres ou recentemente associadas a infraestruturas logísticas mais complexas, desempenham papel estratégico na integração espacial, na circulação de pessoas, mercadorias e informações, e na consolidação de frentes de expansão econômica. Nesse contexto, a análise sistemática dessas vias de acesso permite identificar os vetores que favorecem o surgimento e a intensificação de atividades de elevado impacto ambiental, como o garimpo ilegal e o desmatamento, frequentemente associados à fragilidade da governança territorial e à limitada presença do Estado. Assim, o estudo das rotas amazônicas revela-se

fundamental não apenas para compreender os padrões de ocupação e uso do solo, mas também para subsidiar políticas públicas voltadas ao ordenamento territorial, à conservação ambiental e ao enfrentamento de práticas ilícitas que comprometem a sustentabilidade do bioma. (Siqueira-Gay, et al., 2022; Sonter et al., 2017; Engert et al., 2021; Botelho et al., 2022).

As vias de transporte, como estradas, têm um papel significativo tanto na promoção do desenvolvimento econômico quanto na intensificação do desmatamento (Garcia et al., 2007). Diversos estudos apontam que um dos principais vetores para o desmatamento das florestas na Amazônia é a abertura de estradas (Costa et al., 2023; Pfaff et al., 2009; Paschoal e Pinheiro, 2011).

Conforme trabalho de Júnior et al. (2007) as estradas proporcionam acesso a áreas remotas, permitindo a extração de madeira, a agricultura e a mineração ilegais. Investigar essas rotas é crucial para aprimorar o monitoramento e a fiscalização do desmatamento. Estradas clandestinas podem ser identificadas e fechadas, facilitando a detecção e repressão de atividades ilegais. Compreender a distribuição e os impactos das rotas existentes pode auxiliar no planejamento de novas infraestruturas de forma sustentável, minimizando o impacto ambiental e promovendo alternativas de transporte que não incentivam o desmatamento.

Para monitorar o desmatamento na Amazônia, o Brasil possui um programa oficial chamado sistema PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia) que disponibiliza o inventário anual de perda de floresta primária (desmatamento) utilizando imagens de satélite de observação da Terra. Este sistema, pioneiro no mundo, provê informações de desmatamento para toda extensão da Amazônia Legal brasileira desde 1988 (INPE, 2024).

Outro dado importante para ajudar a compreender as mudanças na paisagem e a fragmentação da floresta são os dados de uso e cobertura da terra, por imagens de satélite, neste sentido, surgiu o projeto MapBiomas que é uma rede colaborativa, formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia, que além de mapear anualmente a cobertura e uso do terra, monitora a superfície de água e cicatrizes de fogo mensalmente com dados a partir de 1985 (MapBiomas Brasil, 2024).

Analizar as principais rotas que atravessam o bioma amazônico é essencial por várias razões, essas estradas proporcionam acesso a áreas remotas, permitindo a extração de madeira, a agricultura, a mineração e o adensamento urbano (Becker, 1974; Tourinho, 2011). Portanto, estudar essas rotas é crucial para aprimorar o monitoramento e a

fiscalização do desmatamento. Assim, estradas clandestinas podem ser identificadas e fechadas, facilitando a detecção e repressão de atividades ilegais.

Nesse sentido, compreender a distribuição e os impactos das rotas existentes podem auxiliar no planejamento de novas infraestruturas de forma sustentável, minimizando o impacto ambiental e promovendo alternativas de transporte que não incentivam o desmatamento. As vias de transporte podem afetar o desenvolvimento socioeconômico das comunidades locais. Estudar essas rotas pode ajudar a equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, promovendo práticas sustentáveis que beneficiem tanto as populações locais quanto o meio ambiente.

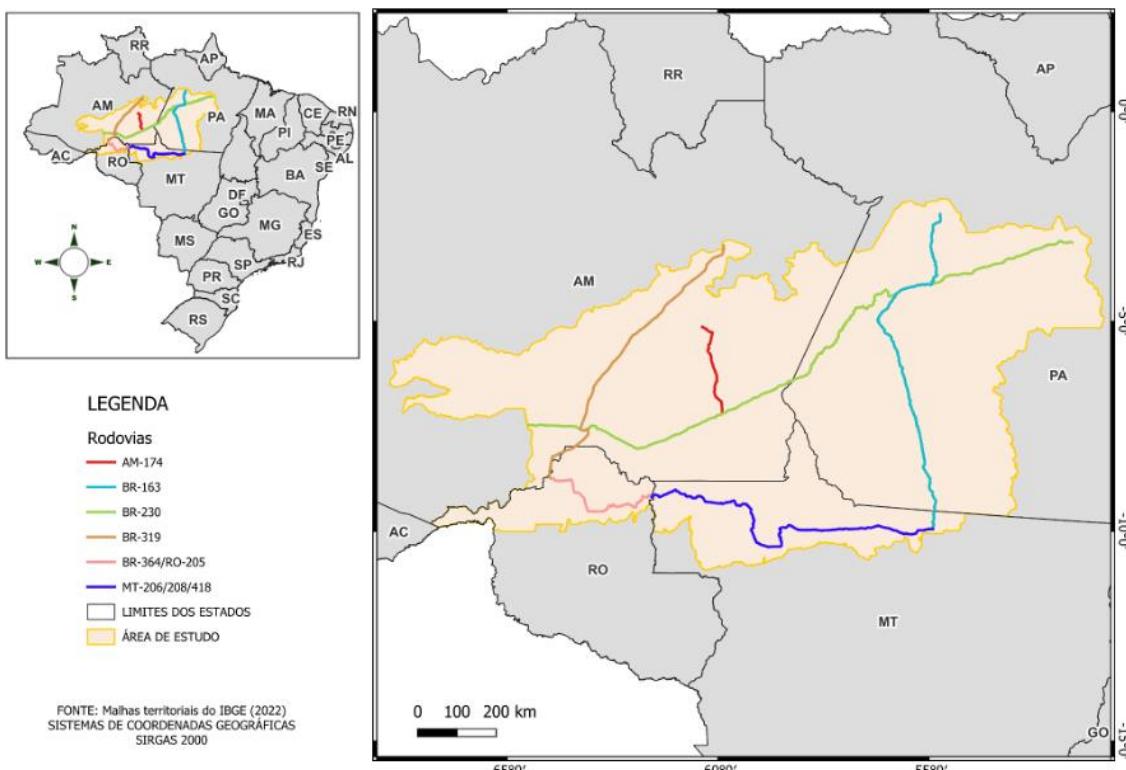
Diante disto, é importante desenvolver estudos que aprofundem a discussão sobre conversões de uso e cobertura da terra, em especial a perda da floresta do bioma Amazônico em áreas de pastagem e áreas agrícolas para monocultura. O objetivo principal deste trabalho é avaliar e trazer uma discussão sobre o impacto ambiental da abertura de rodovias entre os anos de 1985 a 2022 na região conhecida como arco do desmatamento da Amazônia. Para isso, serão utilizados dados de desmatamento do PRODES (INPE) e dados de uso e cobertura da terra do Projeto MapBiomas.

Material e métodos

Recorte geográfico e temporal

O recorte geográfico deste trabalho está localizado na região Norte e Centro-Oeste do Brasil, conta com 49 municípios, distribuídos em quatro estados, abrangendo partes dos estados do Amazonas, Pará, Rondônia e Mato Grosso, totalizando uma área total de 1.038.351,08 km² (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Os autores, 2024.

Para analisar o impacto de degradação ambiental ao longo das rodovias, foi elaborada uma zona de influência de 20 km de cada lado das rodovias (buffer), metodologia já adotada em trabalhos como de Wendland *et al.* 2021. As rodovias analisadas neste estudo foram: BR-163, BR-230, BR-319, MT-206, MT-208, MT-418, BR-364 e RO-205. A área total das rodovias já considerando a sua zona de influência de 20 km é de 193.378,92 km², o que equivale a 18,60% do total da área de estudo.

A área de estudo está localizada no bioma Amazônia, esse bioma apresenta uma área de 5.015.146,008 km², correspondendo a cerca de 58,93% do território brasileiro (IBGE, 2024). A Amazônia se destaca pela extraordinária continuidade de suas florestas, pela ordem de grandeza de sua principal rede hidrográfica e pelas sutis variações de seus ecossistemas, em nível regional e de altitude, é um bioma de clima quente e úmido, com uma enorme biodiversidade de espécies animais e vegetais (Ab'sáber, 2003).

O período do estudo compreende os anos de 1985 a 2022 da série temporal do Banco de Dados de Desmatamento (PRODES) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), além da análise de 38 mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 1985 a 2022 utilizando os dados do projeto o do MapBiomass, totalizando 38 anos de análise temporal.

Dados utilizados e processamento

Foram utilizados os dados de desmatamento disponibilizados pelo INPE do projeto PRODES (INPE, 2024). A partir de 2008 os dados de desmatamentos são disponibilizados anualmente e são contabilizados de agosto a julho do ano seguinte, tendo como base de mapeamento imagens do satélite Landsat ou similares. Para este trabalho foram importados os dados de desmatamento acumulado de 1985 a 2007 e desmatamento anual do período de 2008 a 2022. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisa (INPE, 2021), os dados de desmatamentos, para registrar e quantificar as áreas desmatadas são maiores que 6,25 hectares, considerando a remoção completa da cobertura florestal primária por corte raso. Na plataforma Terra Brasilis os dados de desmatamento são disponibilizados em formato vetorial (extensão shapefile) representado por polígonos de desmatamento, separados pelas classes biomas e Amazônia Legal.

Também foram utilizados os dados de Cobertura e Uso da Terra do Projeto MapBiomass, coleção 8.0 (Mapbiomas Brasil, 2024a). Foi utilizada a série anual de 1985 a 2022, totalizando 38 mapas anuais de cobertura e uso da terra. O download foi realizado pela geometria da área de estudo, através de toolkits preparados pelo MapBiomass no Google Earth Engine (GEE), esta ferramenta tem o principal benefício de exportar tanto o mapa como a estatística de área para a geometria e período desejado. Os dados de cobertura e uso da terra são disponibilizados em formato GeoTiff, convertidos em formato vetorial. Esses dados são fundamentais para a discussão sobre a questão do aumento da degradação e desmatamento dentro da zona de influência (20 km) das rodovias. Foram encontradas 13 classes de cobertura e uso da terra, porém para simplificação e síntese nas análises, foram utilizadas somente 5 classes de interesse do estudo: Soja, Mineração, Pastagem, Formação Florestal e Infraestrutura Urbana. Esses dados são fundamentais para a discussão sobre a questão do aumento da degradação e desmatamento dentro da área de estudo.

Foram utilizados os dados das rodovias disponibilizados no Catálogo de Metadados da Agência Nacional De Águas (ANA, 2024), esses dados são disponibilizados na plataforma em formato vetorial (extensão shapefile) representados por linhas das rodovias, separado por nome e classe (Municipal, Estadual e federal). Em seguida foi realizado uma zona de influência de 20 km (buffer) de cada lado das rodovias que sobrepõe a área de estudo, com o objetivo de criar uma área de influência e avaliar o impacto do desmatamento sobre a área.

O processamento dos dados de desmatamento e de Cobertura e Uso da Terra consistiu nas seguintes etapas: (I) Para o perfil do desmatamento nas rodovias, foram cruzados os polígonos de desmatamento acumulado 1985 a 2007 e desmatamento anual de 2008 a 2022. Também nessa etapa foram feitas as proporções da quantidade de desmatamento por ano e por rodovia através de gráficos pelo software Excel; (II) Para analisar a cobertura e uso da terra ao longo dos anos (38 anos) nas rodovias foi necessária a conversão dos dados do formato GeoTiff para o formato vetorial de extensão shapefile. Com esses dados foi possível analisar ao longo do tempo as principais classes que perderam ou aumentaram sua área ao longo das rodovias, usando ferramentas de recorte espacial do entre o shapefile de cobertura e uso da terra com o shapefile da zona de influência das rodovias (buffer 20 km).

Todo o processamento e análise espacial, bem como a edição final dos mapas foi realizado no software QGIS 3.28.8, para recortar e quantificar os dados de desmatamento e cobertura e uso da terra.

Análise estatística para detecção das séries temporais

Para detectar tendências significativas nas séries temporais (1985-2022) nas classes de cobertura e uso da terra, foi aplicado um teste de tendência não paramétrico de Mann-Kendall, o mesmo teste foi aplicado em outros estudos (Kendall, 1955; Mataveli et al., 2022). O teste foi aplicado nas classes Formação Florestal, Soja, Mineração, Pastagem e Infraestrutura Urbana. A hipótese nula do teste considera que não houve tendência temporal, enquanto a hipótese alternativa considera que existe uma tendência na série temporal. Se o valor-p for inferior a nível de significância (α) de 5%, rejeita-se a hipótese nula e, portanto, existe evidência estatisticamente significativa de que a série temporal possui alguma tendência. Para tratamento dos dados utilizou-se o software estatístico XLSTAT (versão 2024) com entrada de dados pelo Excel.

Resultados e discussão

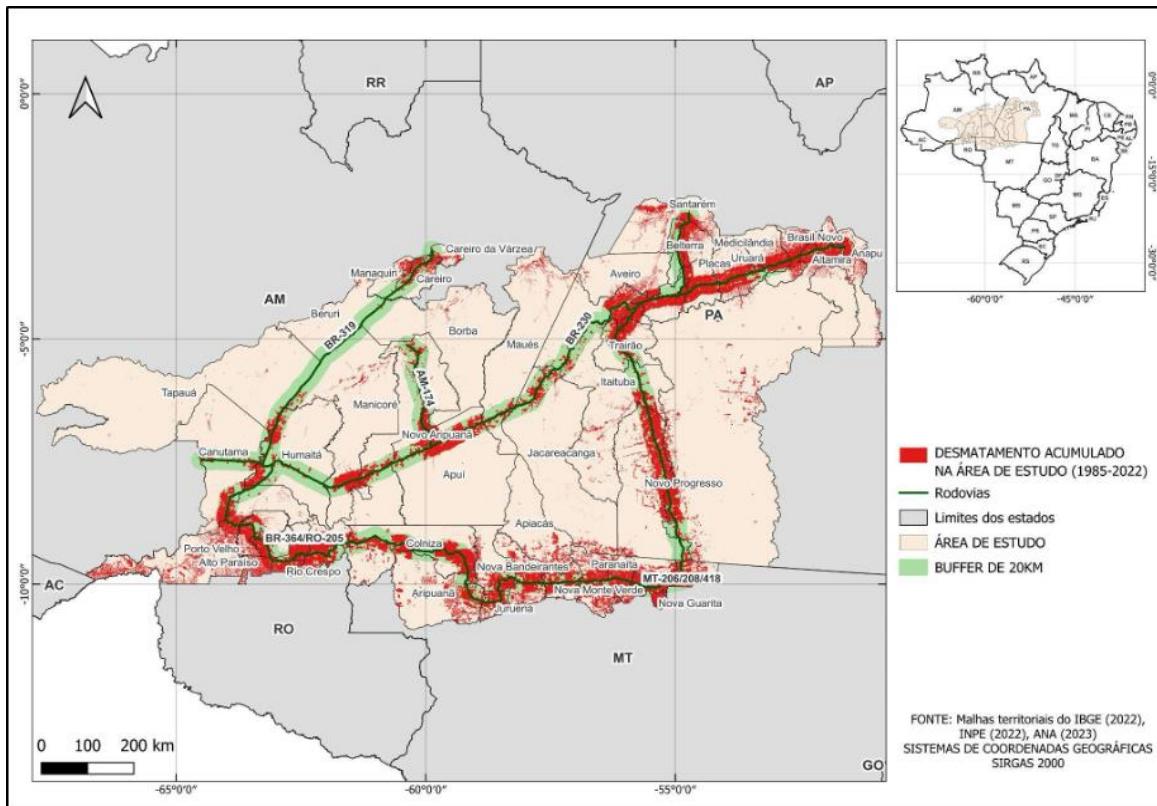
Primeiramente, foi identificado o desmatamento acumulado dentro da área de estudo, de 1985 a 2022, levando em consideração o buffer de 20 km das rodovias. Para o desmatamento acumulado entre os anos de 1985 a 2007 a área total foi de 95.741,27 km² e para a área de influência (buffer) foi de 46.339,60 km². Já o desmatamento acumulado entre os anos de 2008 a 2022 na área total foi de 46.122,55 km² enquanto na zona de influência

das estradas foi de 17.662,34 km². Totalizando o desmatamento acumulado entre os anos de 1985 a 2022 de 141.863,80 km², já o desmatamento acumulado dentro da área de influência das estradas foi de 64.001,90 km², ou seja, aproximadamente 45,11% do total da área desmatada ocorreu dentro da zona de influência das rodovias em estudo.

A espacialização do desmatamento pode ser observada na Figura 2, as consequências do desmatamento acumulado na área de estudo são abrangentes, afetando tanto o meio ambiente quanto as comunidades locais. É possível também observar que grande parte do desmatamento, se concentrou na região norte do estado do Mato Grosso, ao longo da BR-163, na parte norte do estado de Rondônia e na parte norte do estado do Pará, principalmente ao longo da Rodovia Transamazônica. Destacam-se os municípios Altamira (PA), São Félix do Xingu (PA) e Porto Velho (RO), com as maiores taxas de desmatamento acumulado, com valores superiores a 12 mil km².

As áreas de maior desmatamento acumulado, como observado nos dados de 1985 a 2022, coincidem com essas rotas de transporte. Isso mostra que as rodovias não apenas facilitam a exploração imediata de recursos, mas também criam um ciclo de degradação ambiental, onde o desmatamento se torna uma consequência direta da atividade econômica impulsionada pela infraestrutura.

Figura 2. Mapa do Desmatamento Acumulado entre os anos de 1985 a 2022.

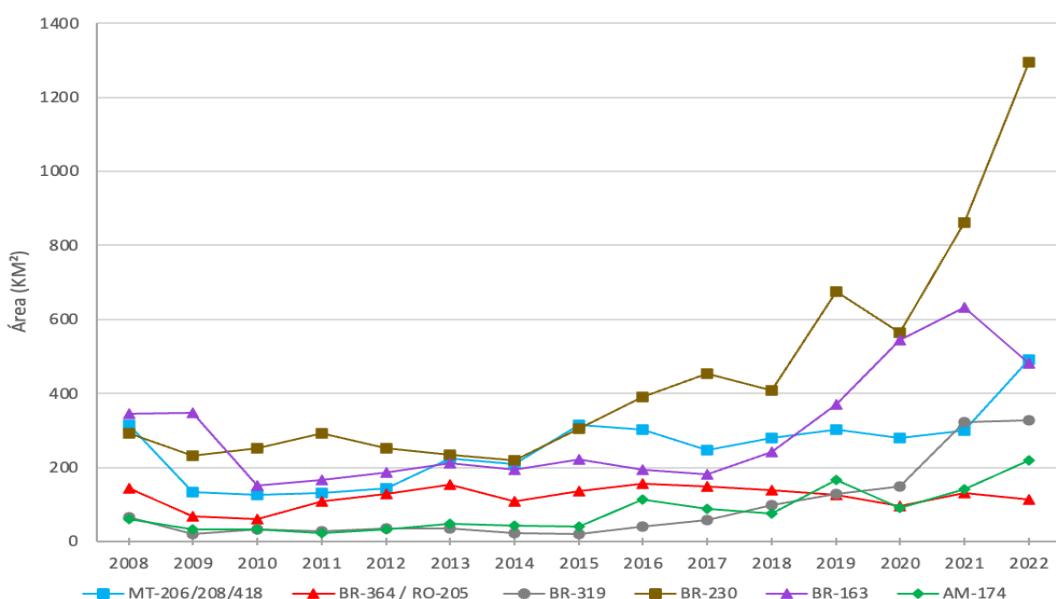


Fonte: Os autores, 2024.

Evidencia-se a concentração do desmatamento durante o período de 1985 a 2022, especialmente no Pará, que lidera os índices, refletindo desafios significativos para a conservação ambiental e a gestão sustentável das florestas na região. O Amazonas (AM) registrou 17.436,28 km², Mato Grosso (MT) totalizou 39.274,59 km², e o Pará (PA), o mais impactado, acumulou 59.887,29 km². Rondônia (RO) somou 25.265,01 km². Ao todo, o desmatamento na área de estudo atingiu 141.863,80 km².

Conforme relatório técnico do INPE (2024) o estado do Pará apresenta altos índices de taxa de desmatamento anuais acumulados ao longo dos anos. O acesso facilitado por rodovias tende a aumentar a exploração madeireira e, consequentemente, o desmatamento, pois permite que madeireiros e outros agentes econômicos entrem em áreas anteriormente inacessíveis. A presença de estradas também favorece a expansão de atividades agrícolas e pecuárias, que são impulsionadas pela derrubada de árvores (Kruid et al., 2021). A degradação florestal no Pará não é apenas resultado de ações locais, mas também de pressões externas relacionadas ao mercado de commodities agrícolas, conforme discutido por Nepstad *et al.* (2001). A abertura de novas estradas, incentivada pelo avanço do agronegócio, tem contribuído significativamente para a intensificação do desmatamento no estado, conforme aponta o estudo de Rivero *et al.* (2009).

Quando analisamos o desmatamento acumulado por rodovia (Figura 3) ao longo da série temporal (2008 a 2022), três rodovias merecem atenção com relação ao aumento significativo da taxa de desmatamento nos últimos anos. A primeira é a rodovia federal BR-230 (transamazônica) no ano de 2014, com uma taxa anual de desmatamento de 218 km², já em 2022 aumentou para 1.295 km², ou seja, um aumento de mais de 494,03 % apenas num intervalo de oito anos. **Figura 3.** Desmatamento Anual de 2008 a 2022 dados PRODES para cada rodovia. A rodovia federal BR-163, que atravessa no sentido norte-sul os estados de Mato Grosso e Pará e importante eixo para escoamento da produção agrícola do Centro-Oeste brasileiro, em 2017 com uma taxa anual de desmatamento de 180 km², cresceu para 480 km² em 2022, ou seja, um aumento da taxa em mais de 166 % em apenas 5 anos.



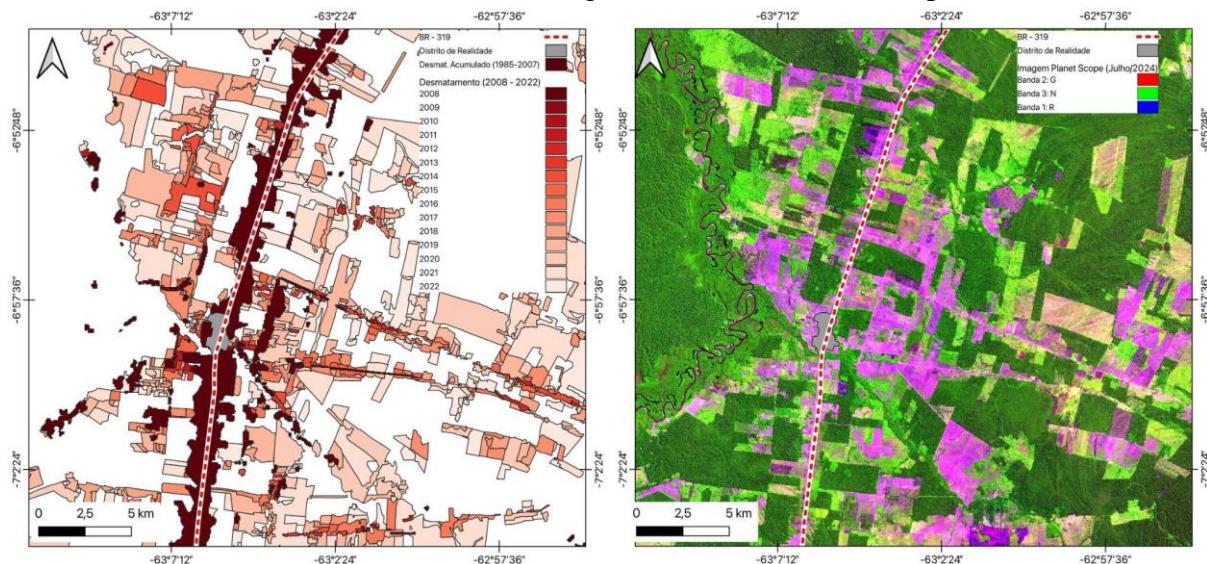
Fonte: Os autores, 2024.

Esse crescimento reflete a pressão das atividades econômicas, especialmente da agropecuária, aliada à falta de fiscalização eficaz (Carvalho et al., 2019). Estudos de Lapola et al. (2016) e Barber et al. (2014) apontam que a expansão agrícola é uma das principais causas do aumento do desmatamento na região, com as áreas de cultivo se expandindo de forma acelerada. Além disso, a mineração constitui outro fator de grande impacto, impondo forte pressão sobre a floresta amazônica. Segundo Alvarez-Berríos et al. (2015), a mineração provoca impactos diretos, como a remoção da vegetação e a poluição, além de abrir caminho para outras formas de ocupação, como a agricultura e a pecuária. Esse processo desencadeia um desmatamento em cadeia, especialmente em regiões próximas a grandes rodovias, como a BR-230 e a BR-163.

A rodovia federal BR-319, que liga as capitais Porto Velho (RO) a Manaus (AM), sofre pressão há muitas décadas para sua pavimentação, o governo do presidente Jair Bolsonaro (2019-2022) anunciou que a rodovia seria asfaltada, causando uma explosão do desmatamento no entorno da rodovia (Fernandes, 2022). Estudos apontam (Paiva e Pereira, 2021; UFMG, 2020, Fearnside et al., 2009a; Fearnside et al., 2009b) que a pavimentação da BR-319 pode quadruplicar as taxas de desmatamento na Amazônia. Em 2019 a taxa de desmatamento anual era de 127 km², em 2022 subiu para 326 km², ou seja, num período muito curto de apenas 3 anos a taxa subiu mais de 156%.

A Figura 4 demonstra que o desmatamento acumulado ao longo da BR-319 entre 1985 e 2022, no município de Humaitá no estado do Amazonas, na localidade do distrito de Realidade. As áreas em vermelho escuro no primeiro mapa refletem o desmatamento inicial (1985-2007), geralmente em torno da rodovia, indicando ocupação inicial nessas regiões e tendo a rodovia como um dos principais vetores para o desmatamento. As áreas de tons vermelhos escuro ao branco, se referem ao desmatamento acumulado ao longo do tempo (2008-2022), mostrando a intensificação da perda florestal nas áreas mais distantes da rodovia e em novos territórios anteriormente preservados. Já no mapa com a imagem de satélite da Planet Scope de julho de 2024, as cores em magenta são as áreas já desmatadas, sempre em torno da rodovia ou em estradas vicinais. Essa diferenciação de cores permite visualizar a expansão progressiva do desmatamento, indicando tanto a influência inicial da rodovia quanto o avanço contínuo do desmate em um ritmo acelerado nas últimas décadas.

Figura 4. Desmatamento entre os anos de 1985 a 2022 na BR-319. Dados PRODES (INPE) ao lado da imagem do Satélite Planet Scope.



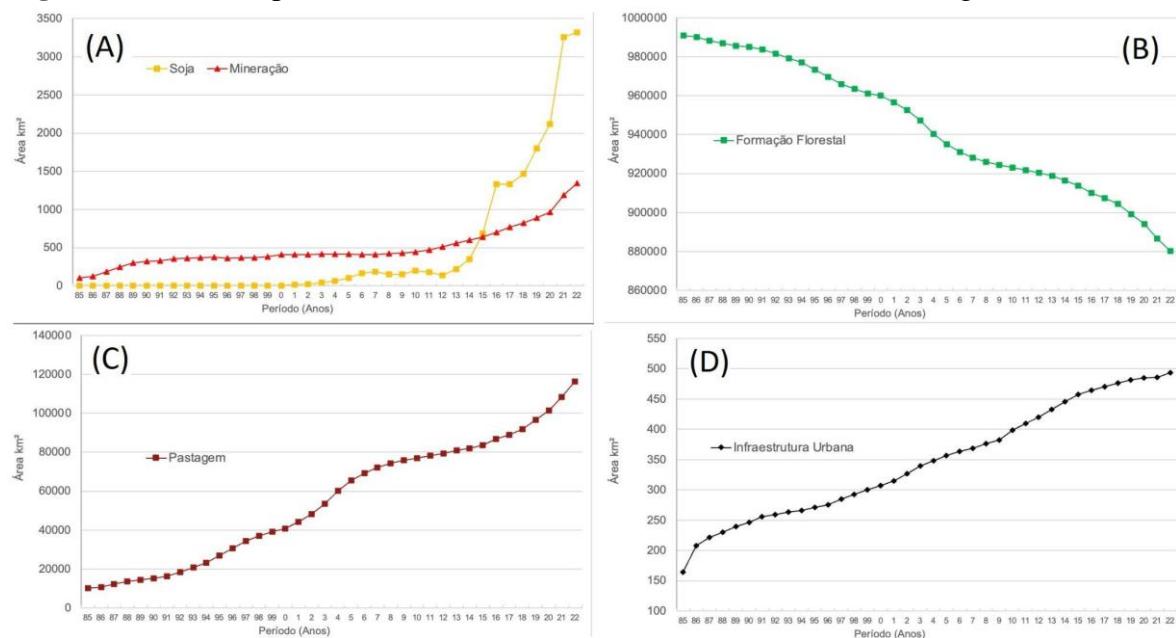
Fonte: INPE (2024). Os autores, 2024.

Conforme matéria publicada (Amazônia Real, 2024), que faz uma crítica ao mais recente relatório do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2024) sobre a construção da rodovia, a BR-163 (Santarém-Cuiabá) é frequentemente citada como um exemplo que poderia servir de modelo para a governança ao longo da BR-319. No entanto, essa comparação não reflete a realidade, pois a BR-163, na prática, ilustra o oposto: mostra os riscos de ter expectativas irrealistas sobre uma governança capaz de controlar o desmatamento e outros impactos ambientais, que, na realidade, estão em grande parte fora do alcance do controle estatal. Licenciada em 2005 com base no Plano BR-163 Sustentável (IBAMA, 2007), a rodovia seguiu um caminho bem diferente, tornando-se um dos principais focos de grilagem de terras, invasão de Terras Indígenas, desmatamento ilegal, além de ser um ponto de extração madeireira e mineração de ouro ilegal (OECO, 2023).

Em relação aos dados de uso e cobertura da terra na área de estudo, os resultados do teste estatístico de Mann-Kendall indicam que todas as classes analisadas apresentam tendências estatisticamente significativas (valor de $p < 0,05$). Observou-se que as classes Soja, Pastagem, Infraestrutura Urbana e Mineração exibiram tendências de crescimento, enquanto a classe Formação Florestal demonstrou uma tendência de declínio estatisticamente significativa. Essa redução na cobertura florestal está em consonância com os dados de desmatamento registrados pelo INPE, reforçando a consistência dos resultados obtidos.

Quando analisamos os dados de uso e cobertura da terra ao longo dos anos dentro da zona de influência de 20 km, podemos perceber que algumas classes se destacam. A classe soja (Figura 4 - A), saltou de 142,08 km² em 2012 para 3321,32 km², ou seja, nos últimos 10 anos um aumento de mais de 2.238,73%. Esse dado é muito preocupante, pois mostra que existe um aumento significativo da cultura soja na área da Amazônia Brasileira, com a conversão da floresta em áreas agrícolas. Outra classe, que obteve aumento significativo de sua área foi a classe mineração, fazendo pressão sobre ecossistemas sensíveis na Amazônia brasileira, principalmente em áreas de proteção ambiental e terras indígenas (Fernandes, 2024; Mataveli et al., 2022, Wanderley, 2017, Monteiro 2005).

Figura 4. Série Temporal das Classes de Cobertura e Uso da Terra ao longo das Rodovias.



Fonte: Os autores, 2024.

A classe Pastagem (Figura 4 - C) é outra classe que possui relação direta com o desmatamento na região da Amazônia brasileira (Silva e De Paula, 2022; Merces et al, 2024). A classe vem aumentando sua área ao longo dos anos, mais de 90% das áreas desmatadas na Amazônia tiveram como primeiro uso a classe pastagem, conforme aponta relatório divulgado pelo Projeto Mapbiomas (Mapbiomas Brasil, 2024b). De acordo com esse cenário de aumento da pastagem, é notável que a maior supressão vegetacional está contida nas classes de formação florestal (Figura 4 - B) que perdeu 110.698,43 km² ao longo dos últimos 38 anos, o que equivale a 11,17 % da sua área total. A perda de cobertura florestal resulta

em degradação da biodiversidade, comprometendo habitats de diversas espécies e aumentando o risco de extinção.

Entre 1985 e 2000, a perda foi mais lenta, representando uma redução de cerca de 30.000 km², ou seja, 3% da área original, saindo de 990.000 km² para 960.000 km². A partir dos anos 2000, o desmatamento se acelera, com uma queda mais acentuada até 2010, período no qual a área florestal passou de 960.000 km² para 920.000 km², diminuiu cerca de 40.000 km², ou seja, 4.17% de desmatamento. Após 2010, a tendência permaneceu constante, representando uma perda de 4,35%, resultando em uma redução de 920.000 km² para 880.000 km² nos últimos 12 anos. Estudos indicam que a perda florestal está ligada a atividades humanas, como a agricultura, exploração madeireira e mineração, dessa forma, gerando pressões significativas sobre os remanescentes florestais (Garcia et al., 2007; Paschoal e Pinheiro, 2011; Costa et al., 2023;).

Por fim, a classe infraestrutura urbana (Figura 4 - D) mostra a evolução urbana dentro do buffer de 20km das rodovias, entre 1985 e 2022, com um crescimento notável ao longo do período. Em 1985, a área ocupada era de aproximadamente 150 km², enquanto em 2022 esse valor chegou a cerca de 500 km², o que representa um aumento de 350 km² ao longo dos 37 anos analisados. Esse aumento de 350 km² corresponde a uma expansão de 233,3% em relação à área inicial, ou seja, a área destinada à infraestrutura triplicou nesse intervalo de tempo. Entre 1985 e 1990, o crescimento foi mais acentuado, passando de 150 km² para cerca de 250 km², um aumento de 66,7% em apenas cinco anos. Isso se reflete no aumento das cidades, principalmente da mancha urbana. Essa rápida expansão no início do período pode ser atribuída ao aumento das atividades econômicas e à construção de novas rodovias, que promovem a conversão de áreas florestais em infraestrutura (Foley et al., 2005).

Considerações finais

Os resultados alcançados neste estudo mostraram que existe uma tendência de aumento do desmatamento nas principais rodovias que cortam a região do arco do desmatamento na Amazônia Brasileira. Principalmente a BR-230 (transamazônica) e a BR-319, que liga as capitais Porto Velho (RO) a Manaus (AM). Com forte influência de setores agropecuários, que aumentam sua área, convertendo ano após ano, florestas nativas em áreas agrícolas (principalmente a soja) e pecuária (pastagem).

Neste sentido, é importante desenvolver estudos de mapeamento e identificação dos locais onde os processos de transformação de cobertura e uso da terra são mais intensos, a fim de propor alternativas menos destruidoras dos ecossistemas presentes no Bioma Amazônico.

Portanto, aliar o levantamento de dados técnicos associados à dinâmica natural das áreas utilizadas para construção das rodovias acarreta em menor impacto socioambiental de curto e longo prazo. Sem perder de foco que vias de interligação de grande fluxo a outras partes do território brasileiro são essenciais ao desenvolvimento humano e econômico da Amazônia.

Referências

AB'SÁBER, A.N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.

ALMEIDA, A. W. B. Os contextos da ocupação da Amazônia: a questão agrária e a mobilização camponesa. *Revista NERA*, v. 5, n. 7, 1992.

ALVAREZ-BERRÍOS, N. L.; AIDE, T. M. Global demand for gold is another threat for tropical forests. *Environmental Research Letters*, v. 10, n. 1, p. 014006, 2015. DOI: 10.1088/1748-9326/10/1/014006.

AMAZÔNIA REAL. O relatório do GT BR-319 de DNIT: a mais recente manobra para obter aprovação para um desastre ambiental. 2024. Disponível em: <https://amazoniareal.com.br/o-relatorio-do-gt-br-319-de-dnit-a-mais-recente-manobra-para-obter-aprovacao-para-um-desastre-ambiental/>. Acesso em: 12 out. 2024.

ANA. Agência Nacional das Águas. Catálogo de Matadados da ANA. Disponível em: <https://metadados.snrh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ff37f924-e88d-4ee4-82e7-14a3e5efe0fd>. Acesso em: 05 set. 2024.

BARBER, C. P.; MARK A. COCHRANE, M. A.; SOUZA JR. B, C. M.; LAURANCE, W. F. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation*, v. 177, p. 203-209, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.004>

BECKER, B. K. A Amazônia na Estrutura Espacial do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*. v. 36, n. 2, 1974. <https://170.84.43.102/index.php/rbg/article/view/1060>

BECKER, B. K. Amazônia. São Paulo: Editora Ática, 1990, 112p.

BOTELHO, J., JR.; COSTA, S.C.P.; RIBEIRO, J.G.; SOUZA, C.M., JR. Mapping Roads in the Brazilian Amazon with Artificial Intelligence and Sentinel-2. *Remote Sensing*. v. 14, 3625, 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14153625>

CARVALHO, W. D.; MUSTIN, K.; HILÁRIO, R. R.; VASCONCELOS, I. M.; EILERS, V; FEARNSIDE, P. M. Deforestation control in the Brazilian Amazon: A conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 17, n. 3, p. 122-130, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.06.002>

COSTA, S. C. P. S.; BOTELHO, JR. J.; RIBEIRO, J. G. F.; SOUZA FILHO, J. S.; SAMASCENO, C. S.; FERREIRA, B. G.; SOUZA JR, C. M. Mapeamento do Incremento Anual De Estradas Na Amazônia Com Inteligência Artificial . In: *Anais Do XX Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2023. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/mapeamento-do-incremento-anual-de-estradas-na-amazonia-com-inteligencia-artificial?lang=pt-br>> Acesso em: 8 Ago. 2024.

COSTA, W. M. O Estado e as Políticas Territoriais no Brasil. Editora Contexto. 7^a edição. 1997. 83p.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). Relatório do Grupo de Trabalho da BR-319. DNIT, Brasília, DF. 67 pp. 2024

ENGERT, J. E.; ISHIDA, F. Y.; LAURANCE, W. F. Rerouting a major Indonesian mining road to spare nature and reduce development costs. *Conservation Science and Practice*. v. 3, n. 11, 2021. <https://doi.org/10.1111/csp2.521>

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. BR-319: A rodovia Manaus-Porto Velho e o impacto potencial de conectar o arco de desmatamento à Amazônia central. *Novos Cadernos NAEA*. v. 12, n. 1, 2009b. <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v12i1.241>

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.; BARBOSA, R. I.; NOGUEIRA, E. M. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da Rodovia Manaus - Porto Velho (BR-319). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 2, p. 208-233, 2009a. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200009>

FERNANDES, M. S. R. A pressão pelo avanço da mineração na faixa de fronteira da Amazônia Legal (2003-2022). *Novos Cadernos NAEA*, v. 27, n. 1, 2024. <http://dx.doi.org/10.18542/ncn.v27i1.15105>

FERNANDES, R. M. S. A política mineral do governo Bolsonaro para a Amazônia Legal: Um balanço a partir dos processos minerários ativos. *AMBIENTES: Revista de geografia e ecologia política*, v. 4, n. 2, p. 149-172, 2022. <https://doi.org/10.48075/amb.v4i2.29781>

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; GRETCHEN, C. D.; SNYDER, P. Global consequences of land use. *Science*, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>.

GARCIA, R. A.; SOARES-FILHO, B.S.; SAWER, D. O. Socioeconomic dimensions, migration, and deforestation: An integrated model of territorial organization for the Brazilian Amazon. *Ecological Indicators*, v. 7, p. 719-730, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.08.003>

GONÇALVES, C. W. P. Amazônia, Amazôncias, 2^a ed. São Paulo: Contexto, 2005.

IBGE. Brasil em Síntese. 2024. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 20 jul. 2024.

INPE. Coordenação Geral de Observação da Terra. Programa de Monitoramento da Amazônia e demais Biomas. Desmatamento – Amazônia – Cerrado - Pantanal. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 10 Ago. 2024.

INPE. Dados sobre desmatamento: metodologia e cobertura florestal primária. 2021. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 15 out. 2024.

INPE. Nota Técnica – Estimativa de desmatamento na Amazônia Legal 2024. 2024. Disponível em: https://data.inpe.br/wp-content/uploads/2024/11/NT_Amz_tx_Prodes2024_T.pdf. Acesso em: 15 nov. 2024.

JÚNIOR, A. O. B.; JÚNIOR, C. M. S.; RIBEIRO, J. G. F.; SALES, M. H. R. Desmatamento e estradas não-oficiais da Amazônia. In: Anais Do XIII Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2007. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.47/doc/2357-2364.pdf>>. Acesso em: 02 Ago. 2024.

KENDALL, M. G. *Rank Correlation Method*. Charles Griffin: London, UK, 1955.

KRUID, S.; MACEDO, M. N.; GORELIK, S. R.; WALKER, W.; MOUTINHO, P.; BRANDO, P. M.; CASTANHO, A. ; ALENCAR, A.; AUXILIADORA , C.; BACCINI, A.; COE, M. T. Beyond Deforestation: Carbon Emissions From Land Grabbing and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. *Frontiers in Forests and Global Change*, v. 4, p. 645282, 2021. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.645282>

LAMB, D.; ERSKINE, P. D.; PARROTA, J. A. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes . *Science*, v. 310, n. 5754, p. 1628 - 1632. 2005. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1111773>

LAPOLA, D. M.; PINHO, P.; BARLOW, J.; ARAGÃO, L. E. O. C.; BERENGUER, E.; CARMENTA, R.; LIDDY, H. M.; SEIXAS, H.; SILVA, C. V. J.; SILVA-JUNIOR, C. H. L. The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science*. v. 379, n. 6630, 2023. DOI:10.1126/science.abp8622.

MAPBIOMAS BRASIL a. Coleção [versão8.0] da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 20 abr. 2024.

MAPBIOMAS BRASIL. Projeto MapBiom - Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil - Coleção 9, Disponível em: https://amazon.org.br/wp-content/uploads/2024/10/Factsheet-Amazonia_C9_01.10_v2_compressed.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

MATAVELI, G.; CHAVES, M.; GUERRERO, J.; ESCOBAR - SILVA, E.V.; CONCEIÇÃO, K.; DE OLIVEIRA, G. Mining is a growing threat within Indigenous Lands of the Brazilian Amazon. *Remote Sensing*. v. 14, 4092, 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14164092>

MERCES, A. V.; SILVA, N. P. C.; VELOSO, G. A. Análise multitemporal nas formas de uso e ocupação da terra na sub-bacia rio do Juruçu - PA. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 41, n. 2, p. 164-178, 2024. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2024.261079>.

MONTEIRO, M. A. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, p.187–207, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100012>

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA, U. L.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management*, v. 154, n. 3, p. 395-407, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00511-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00511-4)

NEPSTAD, D.; MCCRATH, D.; ALENCAR, A.; BARROS, A. C.; CARVALHO, C.; SANTILLI, M.; VERA DIAZ, M. DEL C. Frontier Governance in Amazonia. *Science*, v. 295, p. 629-631. 2002. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1067053>

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A.; SWETTE, B.; BEZERRA, T.; DIGIANO, M.; SHIMADA, J.; SEROA DA MOTTA, R. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. *Science*. v. 344, p. 1118–1123, 2014. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1248525>

OECO. Terras Indígenas impactadas pela BR-163 estão sem acesso a recursos de mitigação. 2023. Disponível em: <https://oeco.org.br/reportagens/terrass-indigenas-impactadas-pela-br-163-estao-sem-acesso-a-recursos-de-mitigacao/>. Acesso em: 12 nov. 2024.

PAIVA, A. F.; PEREIRA, I. N. A. Impactos socioambientais gerados pela implantação da rodovia BR-319. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.30045>

PASCHOAL, E. R.; PINHEIRO, E. S. O desflorestamento ao longo da rodovia BR-174 (Manaus/AM - Boa Vista/RR). *Sociedade & Natureza* (UFU. Online), v. 23, p. 513-528, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132011000300011>

PFAFF, A.; BARBIERI, A.; LUDEWIGS, T.; MERRY, F. Road impacts in Brazilian Amazonia. *Geophysical Monograph Series*. v. 186, p. 101–116, 2009. <https://doi.org/10.1029/2008GM000737>

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: Uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Revista Nova Economia*. v. 19, n. 1, p. 41-66, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-63512009000100003>

SILVA, N. P. C.; DE PAULA, E. M. S. Análise geossistêmica das modificações da paisagem na Microrregião Do Igarapé Tucuruí – Baixo Rio Xingu. *REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA* v. 15, n. 2, p. 52-61, 2022. <https://doi.org/1022411/rede2021.1502.05>

SIQUEIRA-GAY, J.; METZGER, J.P.; SÁNCHEZ, L.E.; SONTER, L. J. PStrategic planning to mitigate mining impacts on protected areas in the Brazilian Amazon. *Nature Communications*. v. 5, p. 853–860, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00921-9>

SONTER, L. J.; HERRERA, D.; BARRETT, D. J.; GALFORD, G.L.; MORAN, C.J.; SOARES-FILHO, B. S. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. *Nature Sustainability*. v. 8 , 1013, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00557-w>

TOURINHO, H. L. Z. Estrutura urbana de cidades médias amazônicas : análise considerando a articulação das escalas interurbana e intraurbana. 576 f. Tese (Doutorado) – Desenvolvimento Urbano, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais. Pavimentação da BR-319, na Amazônia, pode quadruplicar desmatamento. Belo Horizonte, MG. 16 nov. 2020. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/pavimentacao-da-br-319-na-amazonia-pode-quadruplicar-desmatamento>. Acesso em: 20 set. 2024.

WANDERLEY, L. J. Do Boom ao Pós Boom das commodities: o comportamento do setor mineral no Brasil. *Versos - Textos para Discussão PoEMAS*. v. 1, n. 1, p. 1-7, 2017.

WENDLAND, M. J.; HARTMANN, M. T.; HARTMANN, P. A. Análise espaço-temporal da influência de rodovias na cobertura florestal em seu entorno. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.10, p.172-185, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0015>