

## Artigo original

# Performance geoeconômica, gases de efeito estufa e mudanças climáticas, uma análise da nova fronteira agrícola brasileira

Goeconomic performance, greenhouse gases and climate change, an analysis of the new Brazilian agricultural frontier

Gerson Bessa de Andrade<sup>1\*</sup> , Rene Flores Ribeiro<sup>2</sup> , Cristiele Souza da Silva<sup>1</sup> ,  
Cristovão Henrique Ribeiro da Silva<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, AC, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André, SP, Brasil

**COMO CITAR:** Andrade, Gerson Bessa de, Ribeiro, Rene Flores, Silva, Cristiele Souza da, & Ribeiro da Silva, Cristovão Henrique (2024). Performance geoeconômica, gases de efeito estufa e mudanças climáticas, uma análise da nova fronteira agrícola brasileira. *Revista Brasileira de Avaliação*, 13(2 spe), e132924. <https://doi.org/10.4322/rbaval202412029>

Gerson Bessa de Andrade, negro, mestrando em Geografia, Universidade Federal do Acre – UFAC.

Rene Flores Ribeiro, pardo, pós-graduando, Universidade Federal do ABC – UFABC.

Cristiele Souza da Silva, negra, mestranda em Geografia, Universidade Federal do Acre – UFAC.

Cristovão Henrique Ribeiro da Silva, negro, pós-doutor em Geoeconomia, Universidade Federal de Goiás – UFG, geógrafo, internacionalista, professor, Curso de Mestrado em Geografia, Universidade Federal do Acre – UFAC.

## Resumo

Este artigo analisa as questões ambientais na região AMACRO, formada pelos estados do Amazonas, Acre e Rondônia, no Brasil. O objetivo é estabelecer as conexões entre o desmatamento, as queimadas e as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), e avaliar o seu impacto nas mudanças climáticas. O método utilizado foi a análise de mapas geoespaciais que revelam as áreas afetadas pelas queimadas, as variações de temperatura da superfície e as emissões de GEE na região. Os resultados mostram que a aceleração do desmatamento e o aumento das queimadas na região estão claramente associados ao aumento da temperatura do solo, resultando na intensificação do efeito estufa e agravando as mudanças climáticas. A conclusão destaca a relação direta entre as atividades de queimadas e os níveis de GEE na atmosfera, e evidencia a necessidade de considerar fatores geoeconômicos, geográficos e ambientais no planejamento regional.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas. Desmatamento. Queimadas. Gases de efeito estufa. AMACRO.

## Abstract

This article analyzes environmental issues in the AMACRO region, formed by the states of Amazonas, Acre and Rondônia, in Brazil. The objective is to establish the connections between deforestation, fires and Greenhouse Gas (GHG) emissions, and assess their impact on climate change. The method used was the analysis of geospatial maps that reveal the areas affected by the fires, surface temperature variations and GHG emissions in the region. The results show that the acceleration of deforestation and the increase in fires in the region are clearly associated with the increase in soil temperature, resulting in the intensification of the greenhouse effect and worsening climate change. The conclusion highlights the direct relationship between burning activities and GHG levels in the atmosphere, and highlights the need to consider geoeconomic, geographic and environmental factors in regional planning.

**Keywords:** Climate change. Deforestation. Fires. Greenhouse gases. AMACRO.

A RBAVAL apoia os esforços relativos à visibilidade dos autores negros na produção científica. Assim, nossas publicações solicitam a autodeclaração de cor/etnia dos autores dos textos para tornar visível tal informação nos artigos.

**Recebido:** Novembro 01, 2023

**Aceito:** Julho 12, 2024

**\*Autor correspondente:**

Gerson Bessa de Andrade  
E-mail: gersonbessa17@gmail.com

**Instituição Parceira:** Universidade Federal do Acre - UFAC



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.



## Introdução

A preocupação na escala global atribuída no campo das mudanças climáticas, baseia-se nos acordos internacionais como Protocolo de Kyoto, Acordo de Paris, Mecanismo Internacional de Varsóvia e outros, desde 1995, quando se diz respeito ao clima em escala global devido à intensificação dos sinais de eventos cada vez mais extremos e frequentes. Cientistas ao redor do planeta, por meio do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), desde 2007, alertam sobre as consequências severas das atividades humanas no clima, que podem levar a um ponto irreversível, alterando permanentemente as condições climáticas globais desde o período pré-industrial. A Organização das Nações Unidas (ONU, 2023) tem facilitado conferências, buscando estabelecer acordos entre países para atenuar os impactos negativos das ações humanas no ambiente global.

Entretanto este debate que atualmente tem se difundido não somente pelos meios científicos, mas também pela mídia mundial, no qual ganhou destaque em meados da década de 80, com a Primeira Conferência Mundial sobre o Clima realizada na cidade de Genebra, e que enfim reconhecia as mudanças climáticas como problemática grave e de interesse global, sendo o primeiro marco a realização de pesquisas que visassem o debate sobre mudanças climáticas (Vieira et al., 2015).

Historicamente, o efeito estufa foi fundamental para manter a vida na Terra. No entanto, com o advento de tecnologias avançadas e principalmente a partir da segunda revolução industrial, as ações humanas começaram a ter um impacto mais prejudicial ao meio ambiente. Nas últimas três décadas (1993-2023), atividades como desmatamento e queimadas tornaram-se principais contribuintes para as alterações climáticas, causando perturbações significativas nos ciclos biogeoquímicos do planeta, particularmente no ciclo do carbono. As emissões resultantes e suas altas concentrações têm provocado mudanças climáticas que afetam todo o globo (Figura 1).

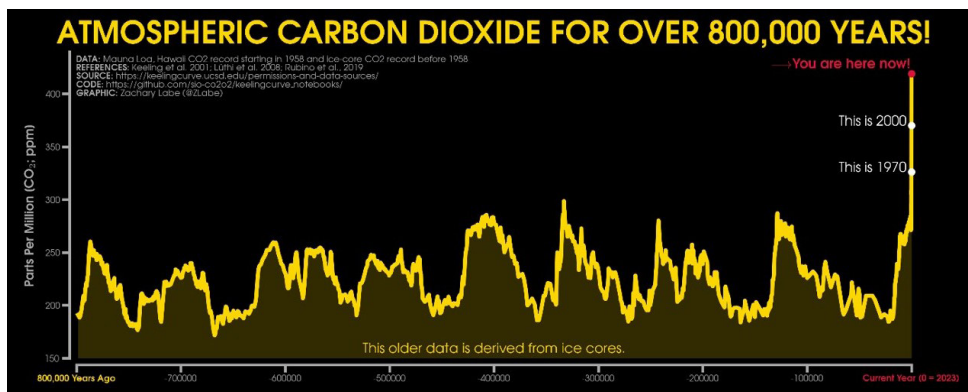


Figura 1. Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico por mais de 800.000 anos.

Fonte: Labe (2023).

O desenvolvimento industrial e a intensificação de suas atividades, que influenciam diretamente nas emissões de Gases de Efeito Estufa e sua concentração na atmosfera, são exemplos de ações antrópicas que ocasionam alteração nos aspectos relacionados a concentração de gases na atmosfera e influenciam diretamente as mudanças climáticas<sup>1</sup>, uma vez que o processo de remoção não ocorre na mesma medida que as emissões (IPCC, 2022).

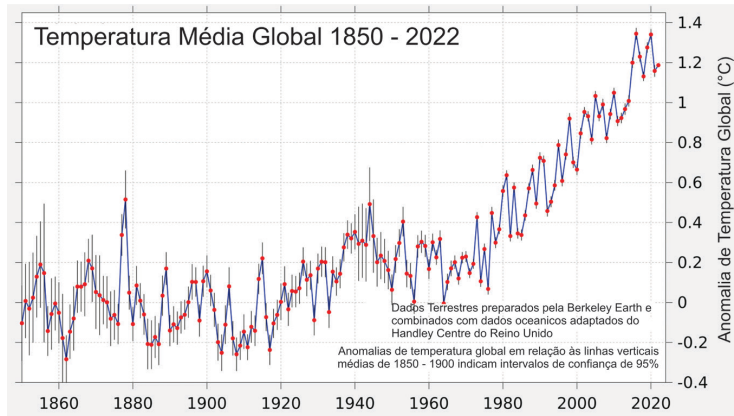
Segundo Pereira & May (2003), o termo “mudanças climáticas” é utilizado para designar vários aspectos do efeito estufa, tais como: as causas da intensificação desse fenômeno natural, as

<sup>1</sup> De acordo com a NOAA (2023), até 2020 o planeta já havia ultrapassado em 1.3 °C a média de temperatura global do período pré-industrial. Os índices de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por sua vez, ultrapassam a média de 425 ppm, aproximadamente 30,77% a mais que na década de 70 (Keeling et al., 2001; Lüthi et al., 2008; Rubino et al., 2019).



consequências do aquecimento global, as medidas necessárias para prevenir ou minimizar esse aquecimento, as consequentes mudanças no clima da Terra e as prováveis medidas que a humanidade deve inserir na agenda de desenvolvimento para adaptação climática.

As mudanças climáticas são um fenômeno global que afeta a vida de todos os seres vivos no planeta. Uma das principais evidências delas é o aumento médio das temperaturas globais, que tem sido observado desde o início da era industrial (Figura 2).



**Figura 2.** Variação da Temperatura média global.

**Fonte:** Berkeley Earth (2022).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a temperatura média da superfície terrestre aumentou cerca de 1,1 °C entre 1850-1900 e 2011-2020, sendo que os últimos anos foram os mais quentes já registrados. Esse aumento de temperatura é influenciado diretamente pelo acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nítrico (N<sub>2</sub>O), que são emitidos pelas atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e a agropecuária (IPCC, 2022).

Segundos dados do IPCC (2022), as emissões e concentração de gases vêm influenciando diretamente o aumento de desastres climáticos como chuvas torrenciais, tempestades, ciclones extratropicais e secas extremas, sendo um exemplo desses fenômenos o ocorrido na bacia Amazônica, em 2023. Tal contexto está relacionado à crise climática e ao aumento gradativo das emissões de GEE, uma questão reconhecida desde a COP 3, quando, no âmbito nacional, o Brasil se tornou um dos signatários do acordo, comprometendo-se a reduzir suas emissões em 5,2% em relação ao ano de 1990. Entretanto, o que se constatou nos primeiros anos de observações das emissões totais brasileiras foi que os níveis se encontravam altos, tendo apresentado aproximadamente o dobro das emissões *per capita* globais, em que, segundo o World Resoucers Institute, essas emissões variaram entre 5,64 tCO<sub>2</sub>e/pessoa em 1997 até 6,18 tCO<sub>2</sub>e/pessoa em 2012 (Azevedo, 2014).

A região amazônica, de acordo com Geiger (1964), é caracterizada por uma cobertura florestal que, segundo o MapBiomás (2023) compreende aproximadamente 75% do território, representando um fator decisivo no campo das mudanças climáticas. Além de ser uma das principais regiões de estoque de carbono no planeta, tem um importante papel, tanto na escala regional quanto na nacional, na manutenção do regime pluviométrico não apenas da região Amazônica, como também da região Centro-Oeste e Sul do país.

No entanto, mesmo se observando sua importância para as questões climáticas, a região ainda vem sofrendo com as ações antrópicas, sendo as atividades de desmatamento e queimadas as mais recorrentes na região. O que constata essa observação são as altas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) oriundos do setor de Mudanças de Uso da Terra (MUT) concentradas regionalmente no ano de 2021, quando foram emitidas aproximadamente 800 milhões de toneladas de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>e). Para ter como parâmetro a importância do controle



das emissões oriundas desse setor no país, as emissões oriundas de MUT na Amazônia corresponderam a 68,3% das emissões nacionais em 2021 (SEEG, 2019).

A região da AMACRO, que tem seu nome formado pelo acrônimo dos estados do Amazonas, Acre e Rondônia contemplando uma área de 32 municípios, vem sofrendo ativamente com as práticas oriundas do desmatamento e das queimadas na região, segundo dados da SEEG os estados que contemplam a região figuram como 3º, 8º e 4º em emissões oriundas destas atividades. Este destaque dos estados em relação aos demais pode ser explicado por Alves & Diniz (2022) que discorrem que:

O desmatamento, em especial na Amazônia, puxou o crescimento das emissões em 2019. A quantidade de gases de efeito estufa lançada na atmosfera pelo setor de mudança de uso da terra aumentou 23% naquele ano, atingindo 968 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> contra 788 milhões em 2018. Em 2019, as alterações do uso da terra continuam sendo a principal fonte de emissões brutas no Brasil (44% do total) [...].

Na reconfiguração da fronteira agrícola que estamos investigando, é imperativo identificar abordagens regionais que se alinhem de maneira inteligente e congruente com a singularidade da Amazônia, desviando-se dos modelos predominantes de desenvolvimento econômico e regional ainda persistentes na área. Geoeconomicamente, a emergente sub-região AMACRO, segue um processo de institucionalização análogo ao observado em MATOPIBA - uma região composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

No entanto, há distinções notáveis. Enquanto MATOPIBA está situada na junção de biomas diversos como o Amazônico e o Cerrado, a AMACRO está ecologicamente confinada ao bioma Amazônico. Esta nova região geoeconômica posiciona-se estrategicamente nas infraestruturas do continente sul-americano, apresentando potencial para se estabelecer como um pilar central na rota do Pacífico. Tal posicionamento poderia impulsionar economias regionais, municípios e governos subnacionais, promovendo um agronegócio robusto e integrado às cadeias produtivas globais de commodities sustentáveis (SUDAM, 2021).

Assim, compreender os aspectos geoeconômicos e geopolíticos é importante para compreensão do desenvolvimento regional, e frente a essas questões, este trabalho tem o intuito de realizar uma análise pautada nas questões físicas da região, principalmente no que se refere as atividades de desmatamento e aos índices de queimadas que ocorreram na região nos anos de 2010 e 2022, e buscando associá-los com as altas concentrações de emissões que a região apresenta, sendo uma das principais causas das mudanças climáticas da região, configurando assim o que estamos intitulando de performance geoeconômica.

A *Performance Geoeconômica* é a capacidade de uma região de gerar riqueza e desenvolvimento econômico, levando em consideração fatores como recursos naturais, infraestrutura, capital humano, políticas públicas e investimentos privados, para entender as potencialidades e desafios de sub-regiões na América do Sul, além de orientar políticas públicas e investimentos que promovam o desenvolvimento econômico sustentável, em facilitar o acesso a importantes portos e centros comerciais em ambos os países, impulsionando o fluxo de importação e exportação de produtos. (Ribeiro-Silva et al., 2021).

Para cumprir esta tarefa de pesquisa na próxima seção apresentaremos os aspectos teóricos e metodológicos que serão abordados.

## Metodologia

### Área de estudo

A AMACRO ou Zona de Desenvolvimento Sustentável (ZDS) é formada pelo acrônimo dos estados do Amazonas, Acre e Rondônia (Figura 3). Está situada na região amazônica e se localiza na divisa entre os estados do Amazonas, Acre e Rondônia, abrangendo uma extensão territorial de aproximadamente 458.116 km<sup>2</sup> (quatrocentos e cinquenta e oito mil, cento e dezesseis quilômetros quadrados) e 32 municípios constituem essa região (SUDAM, 2021).

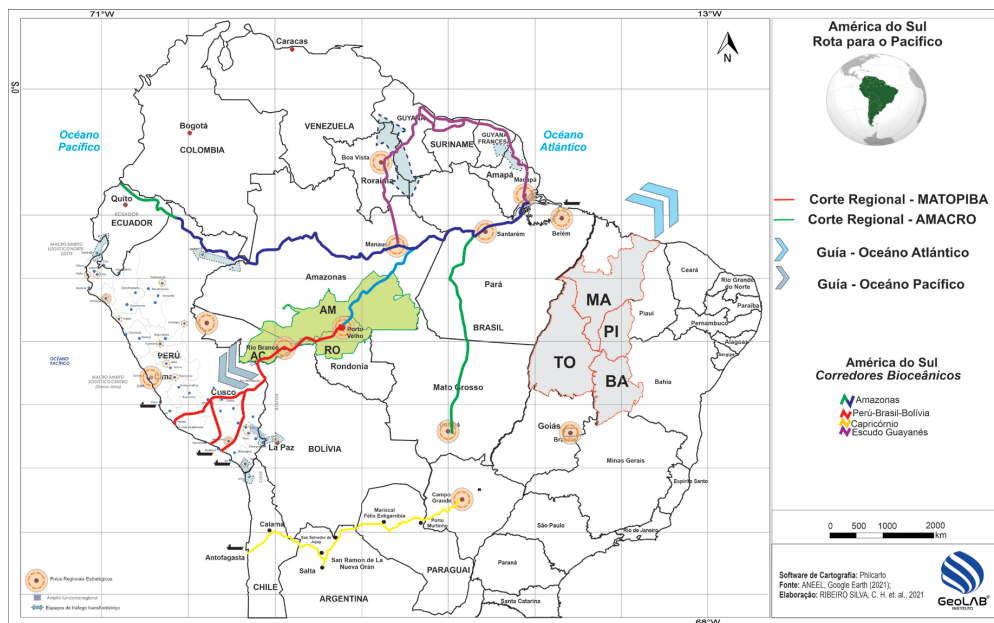


Figura 3. Mapa de Localização da AMACRO.

No contexto de integração regional, a Ponte do Abunã, em Rondônia, inaugurada em 2021, assume uma relevância geoestratégica. Seu principal objetivo é fortalecer as redes de infraestrutura regional e internacional existentes na região, melhorando a conectividade entre cidades e centros produtivos da AMACRO. Especificamente, ela amplia o potencial regional de um dos estados mais cruciais para o agronegócio brasileiro, Mato Grosso, ligando a produção de commodities agrícolas às cidades do sudeste do Peru, nos departamentos de Madre de Dios, Cusco, Apurímac, Ayacucho e Ica, bem como aos terminais portuários situados na costa do Oceano Pacífico.

A conclusão da ponte sobre o rio Madeira (BR-364) em Abunã, Rondônia, solidificou os crescentes fluxos regionais de mercadorias e pessoas ao longo da rodovia interoceânica central e sua extensão no território brasileiro, facilitando o transporte de passageiros e cargas em um corredor pavimentado de 2.250 km entre Porto Velho (Rondônia), Brasil, e San Juan de Marcona, Peru (Figura 4). A conectividade é ainda aprimorada por uma rota adicional para o porto de Ilo-Matarani, na costa marítima dos departamentos de Arequipa e Moquegua.



Figura 4. Ponte sobre o Rio Abunã.

Fonte: Folha de São Paulo (2022).



Financiado pelo Tesouro Nacional do Brasil, o projeto foi executado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) do Ministério da Infraestrutura. Inicialmente proposto em 2010 e incluído na segunda fase do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 2), as obras começaram em 2014, após a licitação em 2013 e eventos de enchentes significativos no Acre (Ribeiro-Silva et al., 2021).

O corredor rodoviário inicia-se em Porto Velho, estendendo-se pela BR-364 asfaltada até Rio Branco (Acre). A meio caminho deste percurso de 512 km, a rota cruza o rio Madeira em Abunã, onde anteriormente o transporte era realizado por balsas. A partir de Rio Branco, a rota continua pela BR-317 asfaltada até o posto fronteiro de Iñapari-Assis Brasil, um trajeto de 343 km, cruzando o rio Acre e adentrando o território peruano em Iñapari.

## Material e método

Desta forma, o presente estudo delineou uma abordagem metodológica quali-quantitativa, permitindo uma análise sobre a sub-região AMACRO. O estudo foi conduzido através de uma revisão bibliográfica que envolveu a pesquisa e análise em fontes bibliográficas, como livros, artigos, teses e dissertações. Essa metodologia, além de aprimorar o conhecimento, também fornece embasamento teórico sólido para o estudo sobre a questão regional brasileira (Egler, 1993).

A abordagem qualitativa adotada é definida como descritiva. As pesquisas descritivas apresentam características presentes em uma realidade através de um problema a ser investigado (Triviños, 2008). Nesse sentido, foi realizado a coleta e análise de dados secundários com recorte temporal nos anos de 2010 e 2022, buscando compreender assim a um período relativamente maior que uma década, e que se aproximasse dos dados mais recentes disponíveis nas plataformas a quais estamos analisando.

Para a elaboração dos mapas de áreas afetadas por queimadas, os dados utilizados foram obtidos do banco de dados do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que disponibiliza informações sobre focos de calor detectados por satélites em todo o território nacional. Foram selecionados os dados referentes ao ano de 2010 e 2022 para os 32 municípios da região da AMACRO, visando realizar uma análise das áreas onde obtiveram maior aumento destes focos de incêndios nesse período, compreendendo um intervalo superior a uma década, e conseqüentemente o período de atualização e apresentação da Nationally Determined Contributions (NDC) brasileira qual a região e fundamental para o cumprimento.

Os dados foram tratados e organizados em um sistema de informações geográficas (SIG), utilizando o software QGIS. Para a aplicação do modelo de kernel, foi utilizado o plugin Heatmap do QGIS, que permite gerar mapas de densidade a partir de pontos.

O modelo de kernel é uma técnica de interpolação que estima a intensidade de um fenômeno em toda a área de estudo, a partir da localização e da frequência dos pontos observados. O resultado é um mapa contínuo que representa a probabilidade de ocorrência do fenômeno em cada local, variando de acordo com uma escala de cores. Foram gerados mapas representativos das áreas queimadas em toda a região da AMACRO, sendo analisados e interpretados seguindo a bibliografia disponível para as causas e conseqüências das queimadas para as questões climáticas na região

Os Mapas de Temperatura da Superfície (TS) foram desenvolvidos a partir dos registros obtidos por meio do dispositivo Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Land Surface Temperature/Emissivity Daily (MOD11A1) Version 6.1 do satélite Terra da National Aeronautics and Space Administration (NASA). Este dispositivo realiza a coleta de dados referentes à temperatura da superfície diurna e noturna, utilizando tecnologia de sensoriamento remoto.

As imagens raster adquiridas foram submetidas a processamento no software QGIS, seguindo os procedimentos delineados na documentação do dispositivo para a obtenção dos valores de temperatura da superfície expressos em Kelvin. Posteriormente, os resultados desse processo foram submetidos a uma nova etapa de processamento, cujo objetivo era a conversão dos



valores de Kelvin (°K) para a escala Celsius (°C). Como resultado, foram produzidos dois mapas de Temperatura da Superfície (TS), apresentados em uma representação de escala de gradiente, na qual tonalidades de verde foram atribuídas às temperaturas mais baixas, enquanto as tonalidades de vermelho foram empregadas para representar temperaturas mais elevadas.

A elaboração dos mapas de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) envolveu a utilização de dados provenientes do sensor TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI), embarcado no satélite Sentinel-5 Precursor, sob a jurisdição da European Space Agency (ESA). No que tange às medições apresentadas nos gráficos de emissão de monóxido de carbono (CO), estas foram obtidas a partir do produto NRTI/L3\_CO, expressas em parte por bilhão (ppb). As medições relativas ao metano (CH<sub>4</sub>), por sua vez, derivaram do produto OFF/L3\_CH<sub>4</sub>, também apresentando valores na unidade de medida ppb.

As imagens adquiridas já se encontravam previamente calibradas com os valores de medição nas unidades devidas. Neste contexto, a principal intervenção consistiu na delimitação das áreas de interesse, mediante recorte das imagens para a área de estudo em questão, bem como na aplicação de uma escala de cores graduada. Na referida escala, as tonalidades azuis foram atribuídas aos valores inferiores de emissão, ao passo que as tonalidades vermelhas foram associadas aos valores mais elevados, proporcionando, assim, uma representação visual das variações de emissão de GEE na região em análise.

## Resultados e discussões

A sub-região AMACRO, formada pelos estados do Amazonas, Acre e Rondônia, é uma das áreas mais afetadas pelas queimadas na Amazônia, estando entre os 8 estados que mais registraram focos de incêndios (INPE, 2023). Para se ter uma noção da importância da região para o controle da NDC brasileira dados parciais não consolidados do último ano mostram uma situação preocupante quanto aos focos de incêndios onde dados do Programa Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a região acumulou mais de 66 mil focos de incêndio entre janeiro e setembro de 2023.

Se comparado com o mesmo período de 2022 com 2023 apresenta 32% de aumento nas ocorrências de focos de incêndio. As práticas de queimadas na sub-região AMACRO estão relacionadas ao desmatamento, causando danos a biodiversidade, a saúde das populações residentes e ainda influenciam diretamente as questões climáticas não só regionais como globais.

O aumento da temperatura e o período da seca prologado formam condições favoráveis para o processo de combustão e propagação do fogo com intensidade e uma velocidade maior, isso pode ser constatado no aumento da ocorrência de focos de incêndios entre os anos 2010 e 2022 analisados, onde teve um aumento de 9.411 focos em relação ao ano de 2010. Além disso, a redução da umidade do solo e a irregularidade nos padrões climáticos são cenários que propiciam o aumento da ocorrência de incêndios florestais de modo descontrolado já que as queimadas que são produzidas principalmente como forma de manejo em atividades agropecuárias ou florestais.

Os meses que possuem maior incidência de queimadas, tanto em 2010 quanto em 2022, são agosto e setembro (Figura 5). Esses meses são considerados os mais secos da região, caracterizados pela temporada de estiagem. O pico de focos de incêndio na região AMACRO ocorreu em setembro, apresentando 9.773 focos de queimadas em 2010, e em 2022 um total de 13.707 focos. Isso representa um aumento de aproximadamente 40,25% em setembro quando comparado ao mesmo mês em 2010.

Ao longo dos meses mais secos, como agosto e setembro, ocorre a variação entre temperaturas médias superiores a 29 °C, com temperaturas máximas atingidas até 36 °C, e com níveis de umidade abaixo de 30%. Nesse cenário, o processo de combustão florestal ocorre com facilidade, e uma vez iniciado, o fogo encontra os recursos necessários para se propagar com rapidez e intensidade (Figura 6).

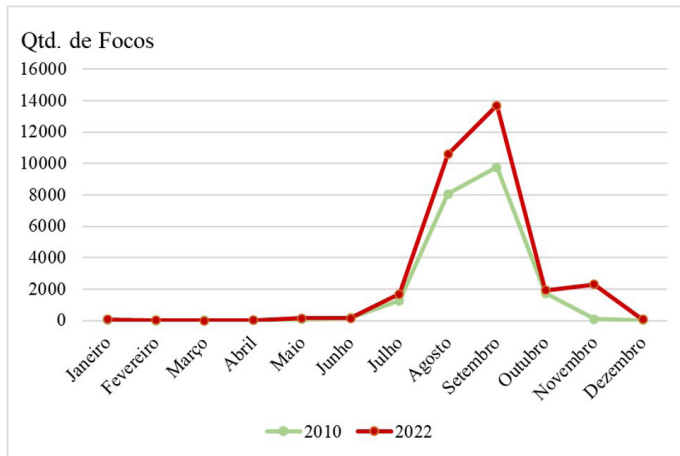


Figura 5. Quantidades Focos de queimadas na AMACRO.

Fonte: Elaborado pelos autores.

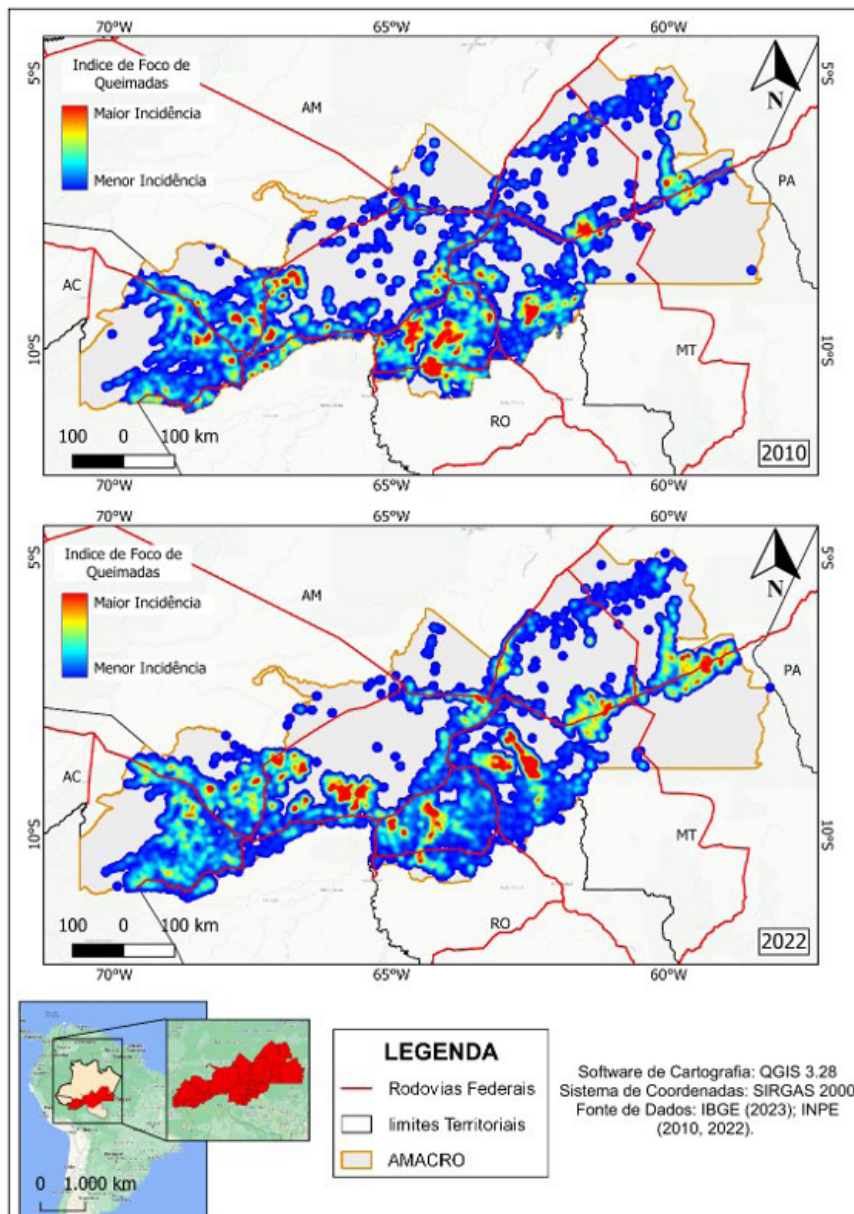


Figura 6. Mapa de ocorrência de focos de incêndio na região da AMACRO nos anos de 2010 e 2022.





Fazendo uma correlação entre os dados observou-se que ocorre uma relação direta entre o aumento no número de focos de queimadas e a emissão de gases de efeito estufa. A maior incidência de incêndios está associada a uma maior liberação desses gases na atmosfera, e consequentemente, a temperatura da região aumenta, ocasionando a intensificação do efeito estufa.

A relação entre a temperatura da superfície terrestre e as mudanças climáticas é intrincada e complexa, sendo influenciada por uma variedade de fatores, como forçamento radiativo e emissão de aerossóis. Além disso, a dinâmica da vegetação, que engloba alterações na fenologia e cobertura do solo, também desempenha um papel na influência sobre a temperatura da superfície terrestre e nos feedbacks climáticos (Liu et al., 2017).

A degradação ambiental resultante do desmatamento descontrolado e da conversão de áreas florestais na região da AMACRO tem repercussões não somente nas questões climáticas, mas também no que se refere também a biodiversidade local. Este processo implica a supressão da cobertura vegetal, o que expõe o solo à radiação solar direta e leva à perda do sombreamento natural. Consequentemente, a temperatura do solo tende a aumentar, especialmente nas áreas onde há substituição de florestas densas por pastagens ou terrenos destinados à agricultura. A remoção da cobertura vegetal também diminui a capacidade de evapotranspiração, resultando em uma menor capacidade de regulação térmica no ambiente.

De acordo com Walker et al. (1995), estudos utilizando um Modelo Geral de Circulação (GCM) indicaram que o desmatamento na região amazônica resulta em uma diminuição na evapotranspiração de cerca de 0,80 mm por dia (aproximadamente 18%). Essa redução na evapotranspiração é consistente em previsões de 1, 2 e 5 dias.

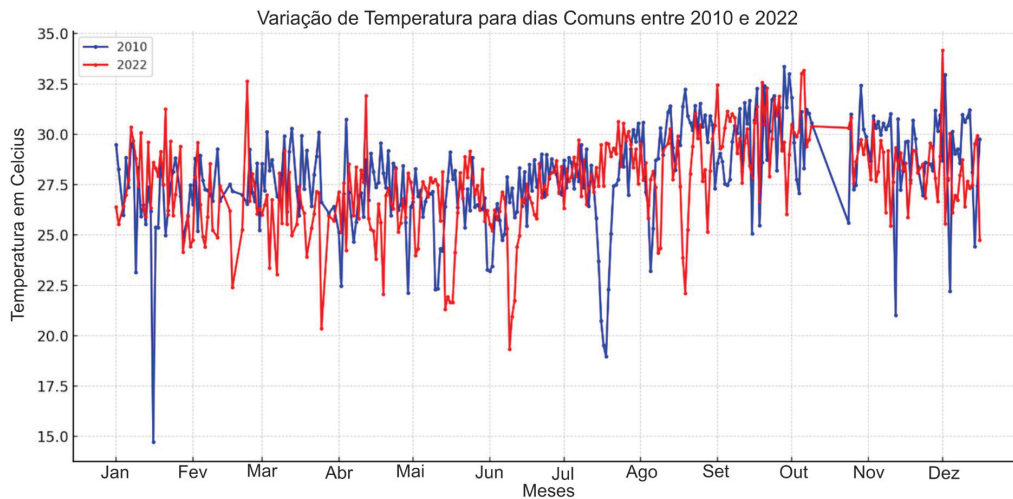
Além disso, o desmatamento na Amazônia também resulta em uma diminuição na precipitação de cerca de 1,18 mm por dia (aproximadamente 8%). A maior redução na precipitação em comparação com a evapotranspiração resulta na ocorrência de secas e do aquecimento na região.

Conforme Lewis & Wang (1998), pesquisas demonstraram que a remoção de florestas em áreas previamente arborizadas resultou em um aumento médio de dois graus na temperatura da superfície do solo, evidenciando uma conexão entre o aquecimento provocado pelo desmatamento, um fator que modifica os parâmetros climáticos e contribui para as mudanças climáticas regionais. Pinto-Coelho (2002), também analisando as relações entre mudanças climáticas e aumento nas emissões de gases de efeito estufa, discorre que os países com maior cobertura florestal tendem a emitir mais CO<sub>2</sub> na atmosfera. Essas altas nas emissões citadas pelo autor são geradas principalmente pelas alterações nos usos e cobertura do solo, com a ocorrência das atividades de queimadas e desmatamento da cobertura florestal.

A região AMACRO vem sofrendo gradativamente com as atividades de queimadas e desmatamento como foi demonstrado na Figura 5 e Figura 6 anteriormente, onde o aumento dessas atividades são causadas principalmente pelo avanço da fronteira agrícola na região, que vem gerando pressão na região Amazônica e consequentemente na AMACRO uma vez que a região também se caracteriza como passagem em prol da nova rota para o Oceano Pacífico.

As queimadas representam um fenômeno recorrente na região, sendo notável o aumento no número de focos de calor registrado em 2022. É possível observar que as áreas que apresentam um aumento na média anual da temperatura da superfície coincidem com as regiões onde houve um maior número de focos de incêndio durante os meses em que a incidência de incêndios foi mais intensa – agosto e setembro. Nos anos analisados de 2010 e 2022, as temperaturas máximas demonstraram uma variação positiva de cerca de 2 °C (Figura 7), indo de 35 °C para 37 °C.

É importante pontuar que os valores de temperatura abaixo da média apresentados na Tabela 1 podem ser justificados considerando que o produto MOD11A1 C6 se baseia em condições de céu limpo para calcular as temperaturas da superfície (TS). Em dias chuvosos ou muito nublados, as nuvens atuam como isolantes térmicos, refletindo a radiação solar e bloqueando a radiação térmica da superfície, o que resulta em valores de LST mais baixos do que o normal.



**Figura 7.** Temperatura Média do Solo na região da AMACRO nos anos de 2010 e 2022.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

**Tabela 1.** Incidência Mensal dos focos de incêndio, da temperatura e das emissões de metano e monóxido de carbono na região da AMACRO em 2022.

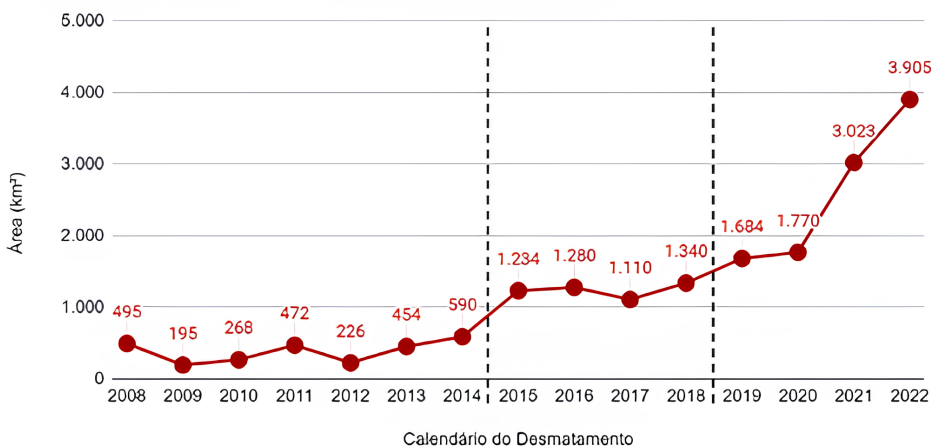
Mês	Focos de Incêndio na região da AMACRO	Temperatura Mensal (em °C)	Emissão de metano (CH <sub>4</sub> ) em ppb	Emissão de monóxido de carbono (CO) em ppb
Jan	71	27,32	1879,73	0,032
Fev	11	26,53	1862,45	0,036
Mar	5	26,24	1873,49	0,033
Abr	19	25,96	1867,24	0,03
Mai	159	27,34	1847,39	0,028
Jun	144	26,41	1849,56	0,028
Jul	1689	28,39	1853,4	0,03
Ago	10590	28,16	1883,7	0,056
Set	13707	30,3	1878,11	0,065
Out	1938	29,88	1871,56	0,054
Nov	2298	29,04	1877,19	0,04
Dez	69	27,9	1884,66	0,034

As queimadas representam uma fonte adicional de elevação da temperatura média do solo, pois a ação do fogo não apenas aumenta a temperatura do ambiente, mas também causa danos diretos à vegetação. Além disso, a fumaça resultante das queimadas contém partículas que têm a capacidade de absorver a radiação solar, contribuindo, assim, para o aquecimento atmosférico.

Os desdobramentos desse aumento do desmatamento na região da AMACRO são múltiplos, incluindo a redução das áreas de floresta natural. Dados do Sistema de Alerta de Desmatamento mostram que entre 2010 e 2022, a área desmatada na região aumentou em cerca de 13,5 vezes, indo de 268km<sup>2</sup> para 3905km<sup>2</sup> (Figura 8), aproximadamente 1357%, sendo que no último ano, a AMACRO contabilizou 36% de todo o desmatamento da Amazônia Legal.



## Série Histórica Desmatamento SAD - AMACRO



**Figura 8.** Série histórica de desmatamento na região da AMACRO.

**Fonte:** Santos et al. (2023).

Tal processo desencadeia problemas ambientais, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), perda de biodiversidade e impacto nos serviços ecossistêmicos. Essas implicações não estão limitadas a uma escala regional, pois a região da AMACRO exerce um papel de relevância tanto na conservação da biodiversidade quanto nos estoques de carbono, com repercussões em nível nacional e global.

No que diz respeito à análise das emissões de monóxido de carbono (CO) e metano (CH<sub>4</sub>) na região da AMACRO, observa-se uma relação potencial com as atividades de queimadas. Assim como no caso da temperatura média da superfície, as regiões com maiores índices de emissão de GEE são também as regiões onde há o registro de focos de incêndio (Figura 9).

O monóxido de carbono (CO) é gerado como subproduto da combustão incompleta, sendo liberado na atmosfera como resultado da queima de biomassa, incluindo florestas, áreas agrícolas e pastagens. Os picos de emissão de CO (Figura 10), observados nos meses de agosto e setembro de 2022, coincidem com o período de maior incidência de focos de incêndio. Em agosto, a região registrou a emissão de 0,56 ppb, enquanto em setembro, foram 0,65 ppb, praticamente o dobro da quantidade emitida nos meses anteriores, sugerindo uma correlação com o aumento das atividades de queimadas. O mês de setembro, em particular, é caracterizado por condições climáticas secas em muitas regiões, criando um cenário propício para incêndios descontrolados.

O metano (CH<sub>4</sub>) é um gás de efeito estufa cuja emissão ocorre a partir de diversas fontes naturais e atividades humanas. Essa emissão ocorre principalmente devido à decomposição de matéria orgânica em condições anaeróbicas, como nos processos de digestão de animais ruminantes, decomposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários e zonas úmidas.

No que diz respeito aos dados de emissão de metano na região da AMACRO, observa-se que, apesar de não apresentarem relações diretas com a ocorrência de queimadas - uma vez que seus valores permanecem relativamente constantes ao longo do ano, concentram-se principalmente nas áreas com mais índice de ocorrência de focos de incêndio e desmatamento (Figura 11).

Em 2022, durante os meses de agosto e setembro, período em que a região registrou o maior número de focos de incêndio, as concentrações de metano apresentaram variação positiva, com 1883,7 ppb e 1878,1 ppb, respectivamente (Figura 12). Cabe lembrar que as áreas afetadas por queimadas e desmatamento estão associadas à presença de pastagens e atividade pecuária, uma das principais fontes de emissões de metano. Embora a relação entre as queimadas e as emissões de metano não seja direta, os resultados indicam uma interconexão entre esses fatores.

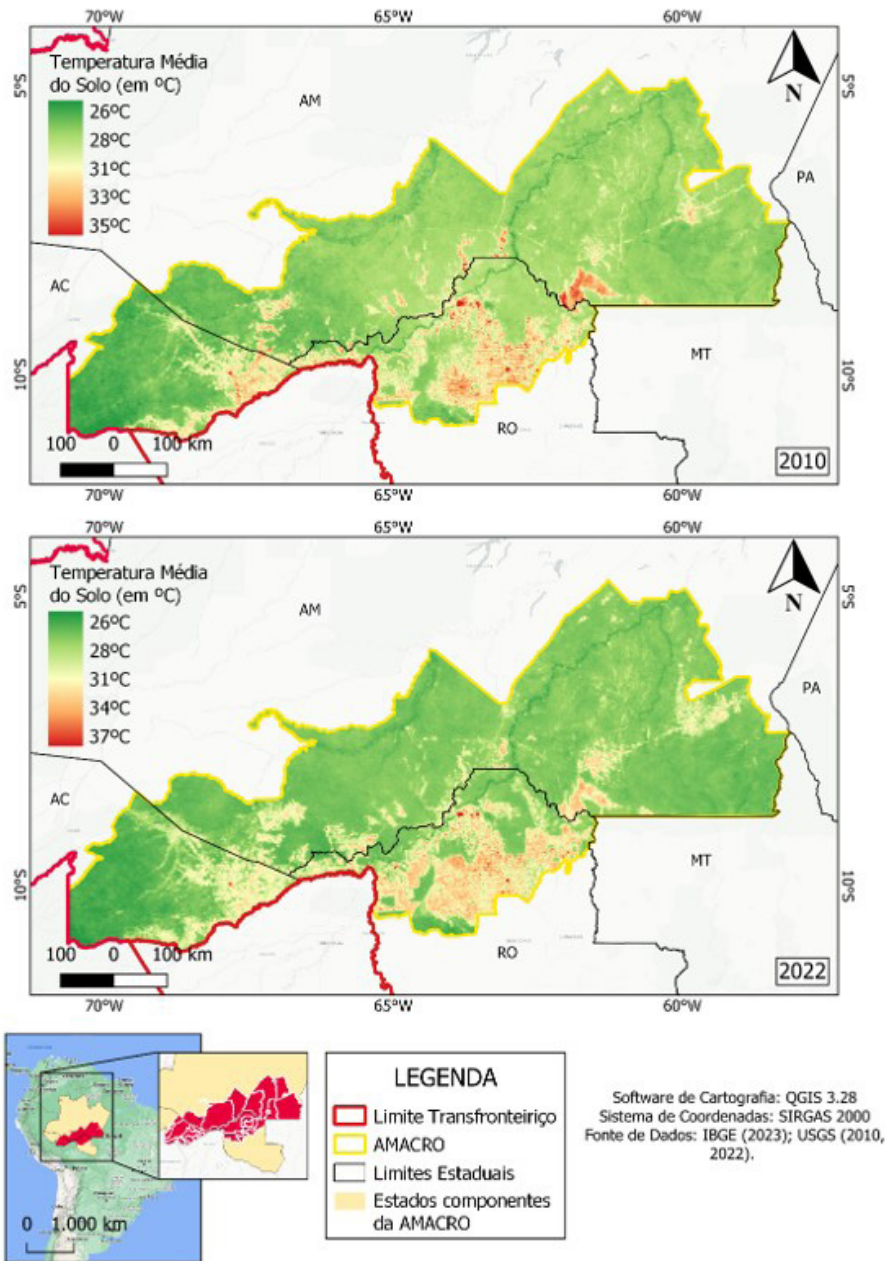


Figura 9. Temperatura Média da Superfície na região da AMACRO nos anos de 2010 e 2022.

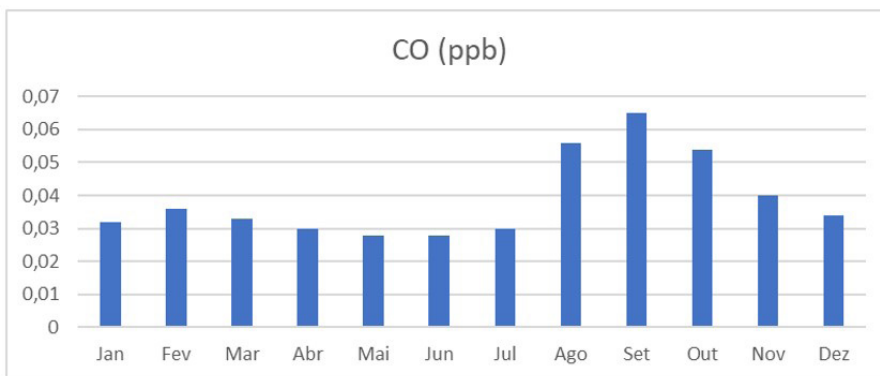


Figura 10. Emissão de monóxido de carbono (CO) na região da AMACRO em 2022.

Fonte: Elaborado pelos autores.

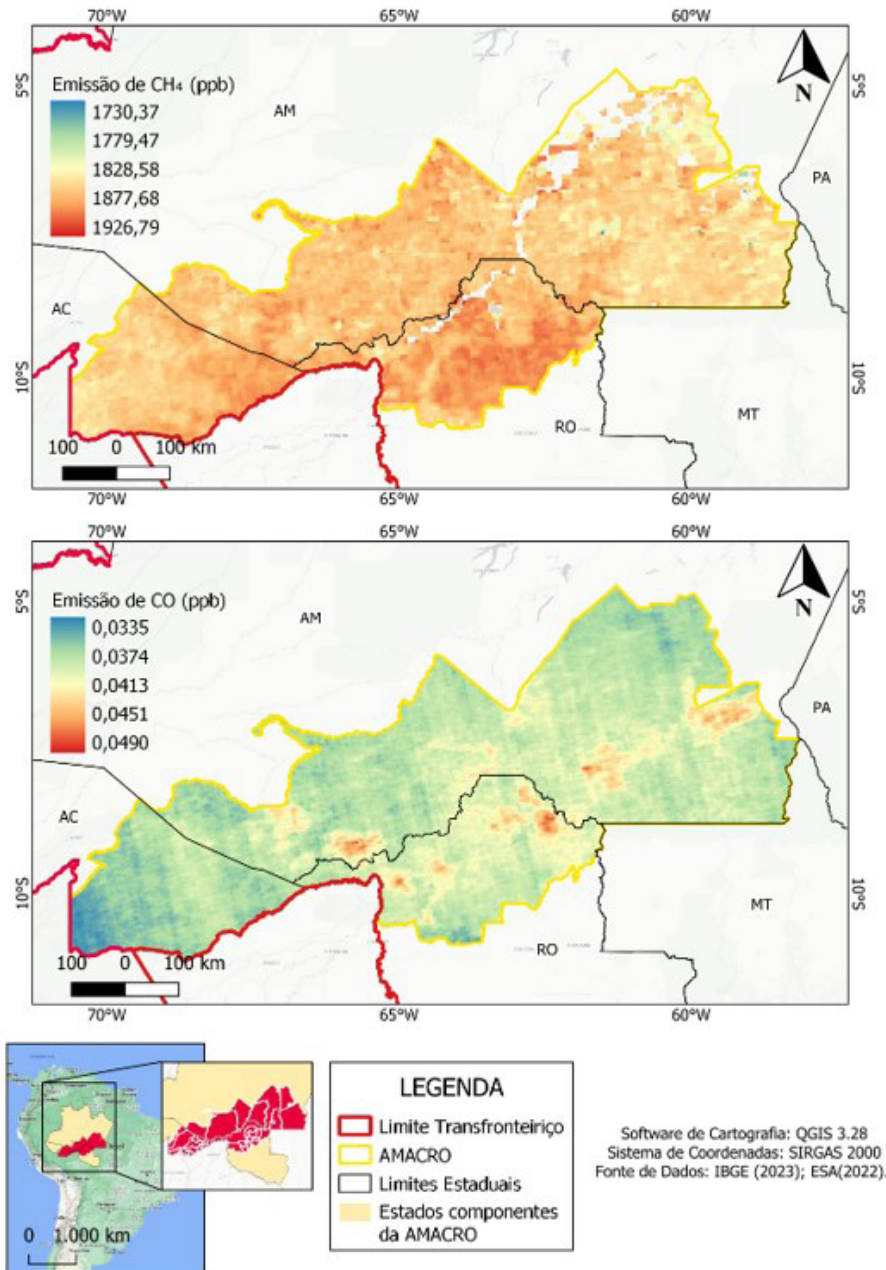


Figura 11. Emissão de GEE na região da AMACRO em 2022.

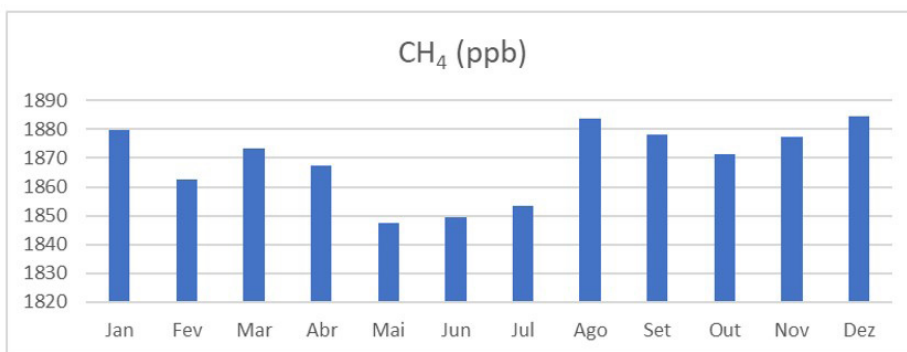


Figura 12. Emissão de metano (CH<sub>4</sub>) na região da AMACRO em 2022.

Fonte: Elaborado pelos autores.



## Considerações finais

A AMACRO nos anos analisados passou por uma vasta degradação ambiental causada pelo desmatamento acelerado e pelo crescimento de queimadas na região. A região apresentou crescimento no número de focos de queimadas nos meses de agosto e setembro de 2022, em comparação com o mesmo período de 2010. Esses meses são os mais secos da região, caracterizados pela temporada de estiagem. O pico de focos de incêndio na região AMACRO ocorreu em setembro, apresentando 9.773 focos de queimadas em 2010, e em 2022 um total de 13.707 focos, representando aproximadamente um acréscimo de 40,25% em setembro quando comparado ao mesmo mês em 2010.

A maior incidência de queimadas na região AMACRO tem implicações negativas para as mudanças climáticas, uma vez que contribui para a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, como o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Esses gases influenciam diretamente nas mudanças climáticas, principalmente nas mudanças de temperatura, tendo como exemplo a ocorrência de ondas de calor em várias regiões do globo e influenciam diretamente na maior frequência e severidade dos eventos climáticos extremos.

A expansão da fronteira agrícola influencia a dinâmica geoeconômica e ambiental da região Amazônica e, conseqüentemente, da AMACRO, que vem sofrendo pressionada principalmente pelos grandes produtores que detêm a maior parte da concentração terra na região, usadas principalmente para a produção agropecuária, onde nos últimos anos a produção de Soja vem se intensificando e causando maior desmatamento na região, afetando negativamente o ecossistema da região. As atividades relacionadas a esses produtores são as que geram os maiores índices de emissões de gases de efeito estufa na AMACRO e no Brasil, onde com os processos de desmatamento, queimadas e preparação do solo para as produções vem se gerando os altos níveis de emissões no setor de Agropecuária e Mudanças de Uso do Solo, que são responsáveis por aproximadamente 78% das emissões nacionais 2021.

A análise dos dados encontrados, especialmente por meio de técnicas geoespaciais, permitiu uma compreensão mais detalhada das áreas afetadas por queimadas, das variações de temperatura da superfície e das concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> na região. Esses resultados destacam a relação direta entre as atividades de queimadas e as concentrações desses gases na atmosfera, assim como, sobre a intrínseca relação entre as dimensões territoriais econômicas, geográficas e ambientais que são balizadoras para o planejamento regional.

## Fonte de financiamento

Não há.

## Conflito de interesse

Não há.

## Referências

- Alves, Vanessa da Paixão, & Diniz, Marcelo Bentes. (2022). Redução de emissões de carbono por desmatamento evitado na Amazônia brasileira: Uma abordagem baseada no cenário Business-as-Usual (BAU). *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 11(1), e19817. <http://doi.org/10.5585/geas.v11i1.19817>
- Azevedo, Tasso. (2014). Análise da evolução das emissões de GEE no Brasil (1990-2012) (21 p.). São Paulo: Observatório do Clima.
- Berkeley Earth. (2022). *Data overview*. Recuperado em 5 de novembro de 2023, de <https://berkeleyearth.org/data/>
- Egler, Claudio. (1993). Crise e questão regional no Brasil (Tese de doutorado). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Folha de S.Paulo. Ponte que diminui de 3 horas para 1 minuto acesso do Acre ao restante do país é inaugurada. Folha de S.Paulo. 2022.



- Geiger, Pedro Pichas. Organização Regional do Brasil. *Revista Geográfica*, 33(61), 25–57, 1964. <http://www.jstor.org/stable/40991791>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2023). Recuperado em 5 de novembro de 2023, de <https://www.gov.br/inpe/pt-br>
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2022). Summary for policymakers. In: Hans Pörtner (Ed.), *Climate Change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC. Recuperado em 5 de novembro de 2023, de [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_SummaryForPolicymakers.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf)
- Keeling, Charles, Piper, Stephen, Bacastow, Robert, Wahlen, Martin, Whorf, Timothy, Heimann, Martin, & Meijer, Harro. (2001). *Exchanges of atmospheric CO<sub>2</sub> and 13CO<sub>2</sub> with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000. I. Global aspects*. San Diego: University of California.
- Labe, Zachary. (2023). *Climate Change Indicators*. Recuperado em 2 de novembro de 2023, de <https://bit.ly/49F7gJl>
- Lewis, Trevor, & Wang, Kelin. (1998). Geothermal evidence for deforestation induced warming: Implications for the climatic impact of land development. *Geophysical Research Letters*, 25(4), 535-538. <http://doi.org/10.1029/98GL00181>
- Liu, Fengshan, Chen, Ying, Shi, Wenjiao, Zhang, Shuai, Tao, Fulu, & Ge, Quansheng. (2017). Influences of agricultural phenology dynamic on land surface biophysical process and climate feedback. *Journal of Geographical Sciences*, 27(9), 1085-1099. <http://doi.org/10.1007/s11442-017-1423-3>
- Lüthi, Dieter, Le Floch, Martine, Bereiter, Bernhard, Blunier, Thomas, Barnola, Jean-Marc, Siegenthaler, Urs, Raynaud, Dominique, Jouzel, Jean, Fischer, Hubertus, Kawamura, Kenji, & Stocker, Thomas F. (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature*, 453(7193), 379-382. PMID:18480821. <http://doi.org/10.1038/nature06949>
- MapBiomás. (2023). Recuperado em 2 de novembro de 2023, de <https://brasil.mapbiomas.org/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA. (2023). Recuperado em 5 de novembro de 2023, de <https://www.ncei.noaa.gov/>
- Organização das Nações Unidas – ONU. (2023). *Acordo de Paris sobre o clima*. Recuperado em 5 de novembro de 2023, de <https://brasil.un.org/pt-br/node/88191>
- Pereira, André, & May, Peter H. (2003). Economia do aquecimento global. In Peter H. May (Ed.), *Economia do meio ambiente: Teoria e prática* (pp. 219-270). Rio de Janeiro: Campus.
- Pinto-Coelho, Ricardo. (2002). Ciclos biogeoquímicos: Fundamentos em ecologia (252 p.). Porto Alegre: Artmed.
- Ribeiro-Silva, Cristovão Henrique., Pereira da Silva, Arlindo Ananias, Santos-Silva, Juliana, Franquelino, Adriano Roberto, & Fontes, Douglas Melo. (2021). Performance geoeconômica de sub-regiões na América do Sul: Elementos para uma nova regionalização. *Revista Tempo do Mundo*, (27), 247-272.
- Rubino, Mauro, Etheridge, David M., Thornton, David P., Howden, Russell, Allison, Colin E., Francey, Roger J., Langenfelds, Ray L., Steele, L. Paul, Trudinger, Cathy M., Spencer, Darren A., Curran, Mark A. J., van Ommen, Tas D., & Smith, Andrew M. (2019). Revised records of atmospheric trace gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and δ<sup>13</sup>C-CO<sub>2</sub> over the last 2000 years from Law Dome, Antarctica. *Earth System Science Data*, 11, 473-492. <http://doi.org/10.5194/essd-11-473-2019>
- Santos, Bianca, Ferreira, Raissa, Dias, Manoela, Brandão, Ives, Amorim, Larissa, & Souza, Carlos. (2023). Dinâmica na região AMACRO com o Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD). In: *Anais eletrônicos do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos: INPE.
- Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG. (2019). *Emissões*. Recuperado em 5 de novembro de 2023, de <https://bit.ly/3sfe1RB>
- Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM. (2021). Zona de desenvolvimento sustentável dos estados do Amazonas, Acre e Rondônia 2021-2027: Documento referencial (176 p.). Belém: SUDAM.
- Triviños, Augusto. (2008). Introdução à pesquisa em ciências sociais: A pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas.
- Vieira, Nathália, Prado Filho, José, Moreira dos Santos, Luciano, & Santos, Ivan. (2015). Inventário de gases de efeito estufa utilizando o programa brasileiro GHG protocol em uma empresa de montagens industriais. In *Anais do 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. São Paulo: ABES.
- Walker, George, Sud, Yogesh, & Atlas, Robert. (1995). Impact of the ongoing amazonian deforestation on local precipitation: A GCM simulation study. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(3), 346-361. [http://doi.org/10.1175/1520-0477\(1995\)076<0346:IOTOAD>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0477(1995)076<0346:IOTOAD>2.0.CO;2)