



ALTERAÇÕES DO USO E COBERTURA DO SOLO E IMPACTOS NO CLIMA REGIONAL DA AMAZÔNIA ORIENTAL

Bergson Cavalcanti de Moraes¹

Hugo de Souza Ferreira²

Giordani Rafael Conceição Sodré³

Lidiane Medeiros Maciel Costa⁴

João Rogério Rodrigues⁵

Mudanças Climáticas

Resumo

Os eventos climáticos extremos aumentaram nos últimos anos na região Amazônica. Segundo o Painel de Mudanças Climáticas, o IPCC, os principais fatores antrópicos intervenientes no clima são, o uso do solo de forma não sustentável, e a ocupação deste solo sem planejamento e ética ambiental, ocasionando assim os mais importantes drives climáticos como o desmatamento, alteração do albedo da superfície, aquecimento do ambiente, entre outros. O presente trabalho teve como objetivo a caracterização as alterações persistentes dos padrões do clima e a evolução do uso e da cobertura do solo em Marabá. Foi observada uma perda de mais de 581.624,97 hectares de áreas de florestas no município, o que corresponde a 38,44 % da área territorial do município, e o aumento de 577.982,61 hectares da área de agropecuária, cerca de 38,20% da área municipal. Foram utilizados dados numéricos, séries temporais e dados de sensoriamento remoto e infraestrutura computacional do PPGGRD-UFPA para a criação dos cenários observados no estudo, no cenário espacial de escala reduzida, as áreas urbanizadas e de mineração avançaram e 3.769,95 (0,24 %) e 3.009,61 (0,19 %) hectares no território municipal, respectivamente. O clima também foi alterado nas últimas décadas, com aumento de até 0,4C° na temperatura máxima do ar e de até 31% de redução na precipitação mensal.

¹ Meteorologista (UFPA); Me. em Agronomia (UFV); Dr. em Ciências Agrárias (UFRA); Prof. Dr. no Instituto de Geociências da UFPA e no PPGGRD-UFPA, bergson@ufpa.br

² Gestor Ambiental (FACI); Esp. em Geoprocessamento e Análise Ambiental (UFPA); Esp. em Perícia e Auditoria Ambiental (FAFIRE); Esp. em Educação Ambiental (UNAMA), Mestrando em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia – PPGGRD (UFPA) e Técnico em Geociências no Serviço Geológico do Brasil-SGB/CPRM, hugo.ferreira@ig.ufpa.br

³ Meteorologista (UFPA); Me. em Ciências Ambientais (UFPA); Dr. em Ciências Ambientais (UFPA); Prof. Dr. no Instituto de Geociências da UFPA e no PPGGRD-UFPA, giordani@ufpa.br

⁴ Geóloga (UFPA); Consultora ambiental da Norte Geo consultoria, lidiane_macielcosta@hotmail.com

⁵ Advogado (FAP); Mestrando em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia – PPGGRD (UFPA), jr@advocaciardrigues.com



Palavras-chave: Mudança do clima, Marabá, impacto ambiental.

INTRODUÇÃO

A variabilidade da precipitação na região Amazônica está associada as teleconexões atmosféricas e oceânicas, decorrentes dos períodos de aquecimento e resfriamento dos oceanos (Atlântico e Pacífico), modulando os principais fenômenos meteorológicos da Amazônia, como por exemplo a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), considerado como o principal sistema de precipitação regional, determinando a duração e intensidade do período chuvoso na Amazônia (SODRE et al, 2015).

Em períodos de intenso aquecimento das águas do Oceano Pacífico, a circulação geral dos ventos atmosféricos é alterada na região, ocorrendo uma diminuição na intensidade dos ventos alísios subtropicais, que normalmente ajudam a distribuir a umidade na Amazônia Oriental e Nordeste do Brasil, ocasionando períodos de secas nas regiões. Caso inverso ocorre em anos de resfriamento das águas do Pacífico (La Niña), quando os ventos alísios são intensificados e dessa forma aumentando o volume de precipitação na região amazônica.

O Oceano Atlântico também possui elevada relevância no regime da Amazônia, impactando diretamente o posicionamento da ZCIT, determinando assim a duração e intensidade dos períodos chuvosos, secas e estiagens. Em períodos de resfriamento das águas do Atlântico tropical, a ZCIT se estabelece mais ao norte, diminuindo o volume das precipitações e ocasionando períodos de deficiência hídrica, podendo chegar a secas severas como foi o caso das secas dos anos de 2005, que afetou o sudeste e oeste da Amazônia, e a de 2010 que também foi associada ao El Niño.

No entanto a variabilidade natural do regime pluviométrico é afetada devido a ocorrência de extremos climáticos. Os eventos climáticos extremos aumentaram nos últimos anos na região Amazônica, e incluem as três fortes secas em uma década (ERFANIAN, WANG, & FOMENKO, 2017; JIMENEZ-MUÑOZ et al., 2016; LEWIS, BRANDO, PHILLIPS, VAN DER HEIJDEN, & NEPSTAD, 2011; MARENGO et al., 2011; MARENGO et al., 2008), além de vários episódios de precipitações extremas,

Realização



principalmente na porção Oriental da Amazônia, que inclui o nordeste e sudeste paraense e parte do Maranhão (ESPINOZA et al., 2014; MARENGO e ESPINOZA, 2016; ERFANIAN, WANG, & FOMENKO, 2017). Entretanto, tais eventos são responsáveis pela variabilidade do clima, que é alterado por um período de alguns meses e em seguida retorna às condições de normalidade climatológica, sendo, portanto, um evento não persistente

Segundo o IPCC (2021), os principais fatores antrópicos intervenientes no clima são, o uso do solo de forma não sustentável, e a ocupação deste solo sem planejamento e ética ambiental, ocasionando assim os mais importantes drives climáticos como o desmatamento, alteração do albedo da superfície, aquecimento do ambiente, entre outros.

Dinamicamente um solo sem a sua cobertura vegetal, ou seja, o solo desmatado, se aquecerá cada vez mais, elevando a temperatura do ar enquanto que a umidade atmosférica, uma vez retida pela vegetação natural, torna-se menor devido à intensificação do processo de evaporação, pois a quantidade de vegetação restante não é suficiente para manter os níveis naturais de umidade, e como efeito direto ocorrerá a intensificação das precipitações nos períodos posteriores ao processo de desmatamento, seguido de uma gradual redução da precipitação ao longo dos anos (MORAES et al, 2022).

Diversas pesquisas mostram que nas últimas décadas os eventos repetidos de seca e tendência de redução na precipitação do sul e sudeste da bacia amazônica (redução de 25% nas chuvas entre 2000 e 2012) (HILKER et al., 2014), além do registro de temperaturas mais elevadas intensificaram o estresse evaporativo sazonal em toda a bacia (JIMENEZ-MUÑOZ, SOBRINHO, MATTAR, & MALHI, 2013).

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização do uso e da cobertura do solo e como a atividade antrópica pode causar alterações persistentes dos padrões dos climáticos locais.

Realização





METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Marabá (Figura 1) é uma cidade localizada no estado do Pará, na região Norte do Brasil. Possui uma área territorial de aproximadamente 15.678,036 km² (IBGE, 2022) e está situada a uma altitude média de 71 metros acima do nível do mar. Geograficamente, Marabá está localizada na confluência dos rios Tocantins e Itacaiúnas, o que confere à cidade uma posição estratégica em termos de transporte fluvial. O município é cortado pela linha do Equador, e parte de seu território está inserida na Floresta Amazônica, uma das maiores florestas tropicais do mundo.

A região de Marabá apresenta um clima tropical úmido, com uma estação chuvosa entre os meses de novembro e abril, e uma estação seca entre maio e outubro. A temperatura média anual varia entre 25°C e 30°C. A vegetação predominante na área é a floresta tropical, com uma grande diversidade de espécies vegetais. A região também possui áreas de cerrado e campos alagados. A biodiversidade da região é rica, abrigando uma variedade de fauna e flora típicas da Amazônia.

Em termos de relevo, Marabá está localizada em uma região de transição entre a planície amazônica e o planalto central brasileiro. O terreno é caracterizado por planícies, colinas e serras baixas. A presença dos rios Tocantins e Itacaiúnas oferece potencial para atividades relacionadas à hidrovia e ao turismo fluvial. Além disso, Marabá é conhecida por abrigar importantes projetos de mineração, com destaque para a extração de minério de ferro. Essa atividade econômica tem impacto significativo na região, contribuindo para o desenvolvimento local, mas também levantando questões ambientais e sociais.

Este município foi selecionado como representativo da Amazônia Oriental devido sua importância para dentro do sudeste paraense, região que concentra os maiores empreendimentos de produção de minério e pecuária da Amazônia. Além de estar inserido dentro da região que mais sofreu alterações no padrão de uso e cobertura do solo nas últimas três décadas.

Realização

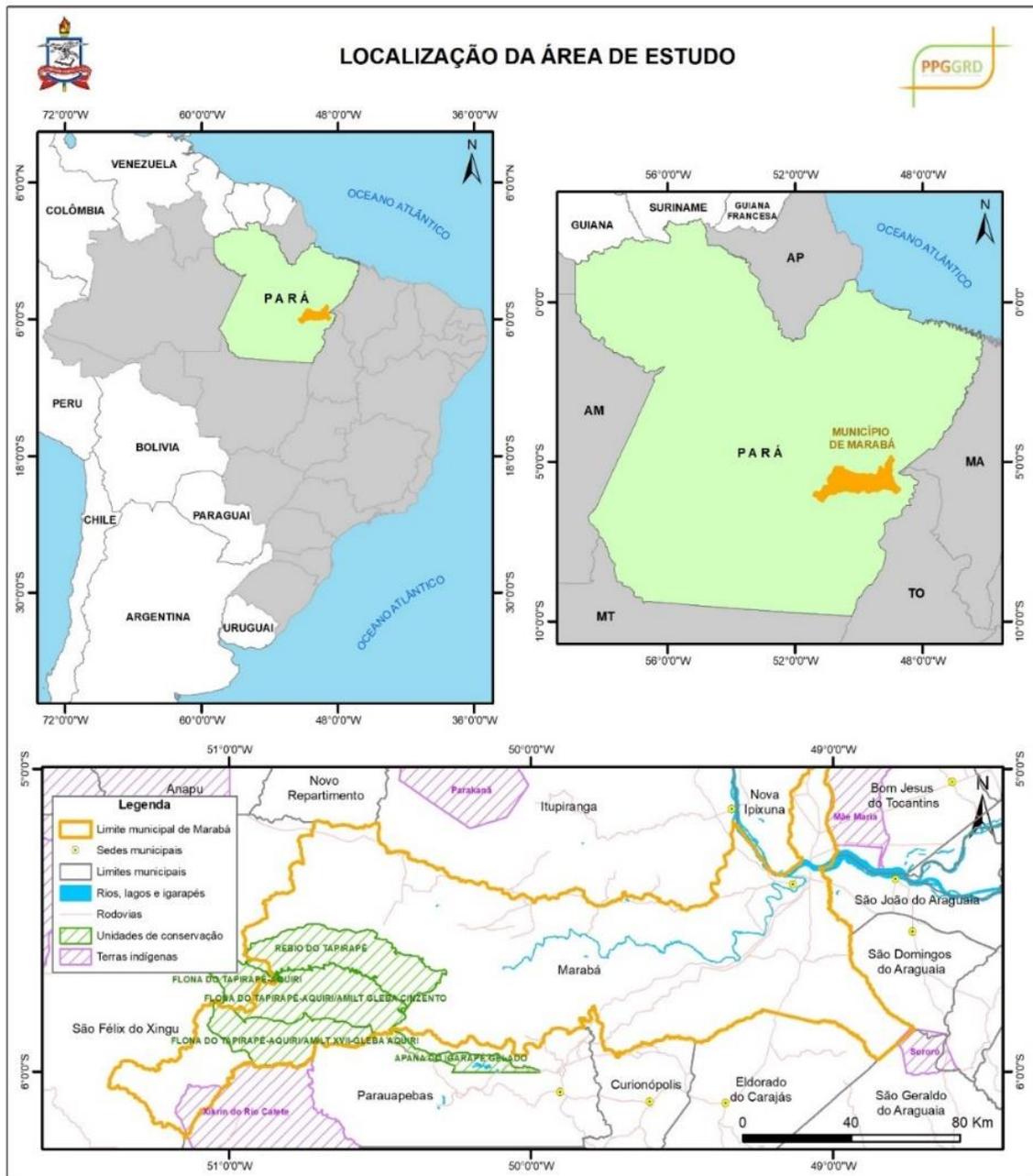
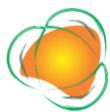


Figura 1. Localização geográfica do município de Marabá.

Fonte: IBGE, 2022 e LABRD-IG-UFGA, (2022).

Foi utilizada a base de dados do TerraClimate (ABATZOGLOU, 2018), compreendidos entre o período mensal dos anos de 1971 a 2021. Esses dados são caracterizados como sendo um conjunto de dados do clima e do balanço hídrico climático na escala espacial global, com frequência temporal mensal, com resolução espacial de 4 x 4 km. Os dados integram informações de alta resolução espacial do conjunto de dados

Realização



WorldClim, com a base de dados do Climatic Research Unit (CRU Ts4.0), além das informações da Reanálise Japonesa de 55 anos (JRA55). Os dados do Terra Climate são submetidos a frequentes atualizações e recentemente adicionados ao Google Earth Engine e ao servidor Thredds, são de domínio público e estão disponíveis em formato netCDF em <https://www.climatologylab.org/terraclimate.html>.

Os períodos climatológicos utilizados para avaliar as alterações dos padrões do clima foram os compreendidos entre 1981 a 2010 e o 1991 a 2020, denominados de clima passado e atual, respectivamente.

Á análise da mudança dos padrões climatológicos consistiu em calcular a diferença entre os dois períodos de base de dados (1981 a 2010 e o 1991 a 2020) das variáveis meteorológicas de precipitação e temperatura do ar máxima, mínima, através de diferença aritmética simples, gerando assim os padrões de anomalias climáticas.

Para a avaliação da dinâmica de antropização do solo, foram utilizados os dados disponíveis na plataforma do Projeto MapBiomias, uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. A descrição completa do projeto encontra-se em <http://mapbiomas.org> e no artigo de referência de Souza et. al. (2020).

O projeto Mapbiomas emprega processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine, para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil, utilizando os mapas de Biomas Brasileiros do IBGE de 2004, originalmente na escala 1:5.000.000, posteriormente refinados com base no mapa de fitofisionomias do RADAM na escala 1:1.000.000 e com base nos limites estaduais do IBGE de 2013 na escala 1:250.000.

Os dados de mapeamento anuais, disponibilizados na plataforma, têm início em 1985 e se estendem até o ano de 2021, e foram gerados com base em imagens Landsat com resolução espacial de 30 m (metros) e uma generalização espacial que descarta áreas isoladas com menos de 0,5 ha (hectares).

Outra característica importante consiste na utilização de todas as imagens disponíveis de cada ano, assim como de índices espectrais, índices de textura e informações de relevo, como forma de aprendizagem de máquina, possibilitando que o classificador



diferencie todas as classes mapeadas, objetivando assim a geração de mapas consistentes para a caracterização da dinâmica das mudanças de uso e cobertura vegetal do solo (Souza et. al., 2020).

Para as análises decadais, a série de dados foi subdividida em quatro períodos. A 1ª década-1D (1985-1994), 2ª década-2D (1995-2004), 3ª década-3D (2005-2014) e tempo presente-TP (2015-2020), respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A área municipal de floresta de Marabá (Figura 2) diminuiu consideravelmente nas últimas décadas, cerca de 140.016,39 hectares (-10,14%) somente na primeira década de estudo, compreendida entre os anos de 1985 ao de 1994, enquanto as áreas de atividades agropecuárias aumentaram em 141.087,22 hectares (129,69 %), áreas urbanizadas expandiram em 1.029,49 hectares (45,45 %) e áreas de atividades de mineração em 143,56 hectares (161,56%). Na década seguinte (1995-2004) o cenário de supressão de áreas florestais se intensificou, com uma diminuição de 326.892,24 hectares (-27,38 %), período em que ocorreram incrementos espaciais nas áreas agropecuárias, 327.073,92 hectares (110,29%), áreas urbanizadas, 801 hectares (22,98 %) e mineração com aumento de 61 hectares (28,3 %) (Figura 2).

Na 3ª década de estudo (2005-2014) às supressões de áreas florestais continuaram, com perdas de 79.222,45 hectares (-9,5 %), e incremento espacial de 76.197,07; 1.683,41 e 1.590,05 hectares nas áreas de atividades agropecuárias (11,60 %), urbanas (38,10 %) e de mineração (380,97 %) respectivamente, explicitando assim a abrupta expansão das atividades de mineração no município nesse período. Os últimos seis anos também foi característico de condições adversas no uso e na cobertura do solo, com diminuição das florestas em 35.493,89 hectares (-4,8 %), aumento das regiões agropecuárias em 33.624,41 hectares (4,5 %), áreas urbanas em 255,65 hectares (4,15 %) e com destaque para a mineração, com incremento de 1.215,52 hectares (58,66 %).

O cenário geral foi a perda de mais de 581.624,97 hectares de áreas de florestas no município, o que corresponde a 38,44 % da área territorial do município, e o aumento de

Realização



577.982,61 hectares da área de agropecuária, cerca de 38,20% da área municipal. No cenário espacial de escala reduzida, as áreas urbanizadas e de mineração (Figura 2) avançaram em 3.769,95 (0,24 %) e 3.009,61 (0,19 %) hectares no território municipal, respectivamente (Figura 2).

Os dados agropecuários do município de Marabá, segundo o IBGE (2022), indicam que a cultura da mandioca no ano de 2004, início da série histórica, ocupava uma área 1500 ha, equivalente a 0,1% da área do município, a partir do ano de 2014 passou a ocupar 0,34% equivalente a uma área de 5.200 ha permanecendo sem alteração até o ano de 2021, esse incremento de área representa um aumento de 246% em 18 anos.

A soja, apesar de ocupar menor área que a Mandioca, apresentou uma expressiva elevação da sua área de cultivo. No ano de 2004 ocupava apenas 30 ha, equivalente a 0,001% da área municipal, passando em 2014 para 500 ha e em 2021 para 525 ha, equivalente a 0,03% da área total do município de Marabá, o que representa um aumento de 1.655% em 18 anos. Em relação a pecuária, em 2004 Marabá possuía um rebanho de 816.730 cabeças de gado, passando para 900.000 cabeças em 2014 e 1.479,450 cabeças de gado em 2021, um aumento de 81,02% em 18 anos.

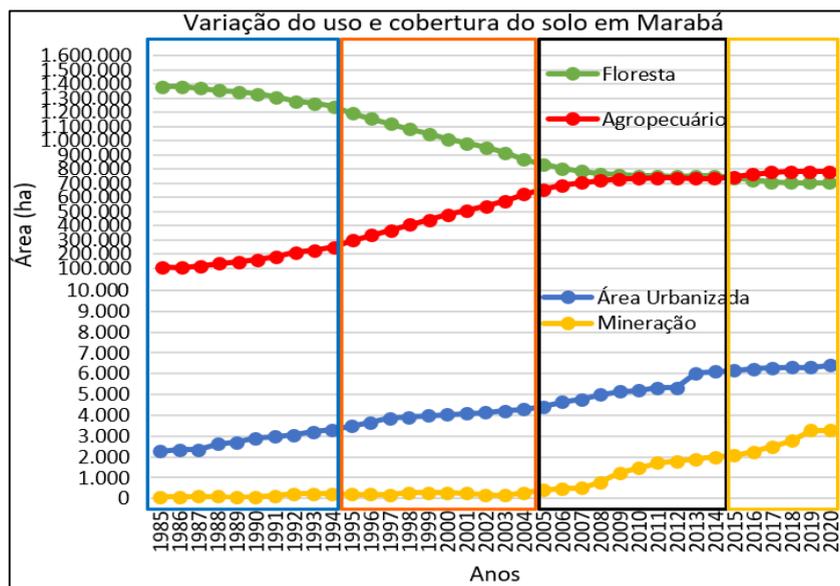


Figura 2. Variação temporal do uso e ocupação do solo no município de Marabá nos últimos 37 anos. As caixas em azul, marrom, preto e amarelo representam a 1ª década-1D (1985-1994), 2ª década-2D (1995-2004), 3ª década-3D (2005-2014) e tempo presente-TP (2015-2020).

Fonte: Autores (2023).

Realização



Foi observado, através da série climatológica do período temporal compreendido entre os anos de 1991 a 2020 de Marabá, uma grande variabilidade nos padrões mensais de precipitação ao longo do ano, com precipitação que chegam a 321 mm no mês de março e podem chegar a apenas 17 mm no mês de julho. O trimestre mais chuvoso está concentrado entre os meses de janeiro a março com um volume total de precipitação de 876 mm, enquanto que o período seco tem início em junho e finaliza em agosto, integralizando apenas 69 mm (Figura 3).

A máxima temperatura do ar pode atingir um extremo de 34°C no mês de agosto, oscila entre este valor e os 30°C ao longo dos meses no ano. A mínima temperatura do ar oscila entre 21,9°C a 23,6°C ao longo do ano.

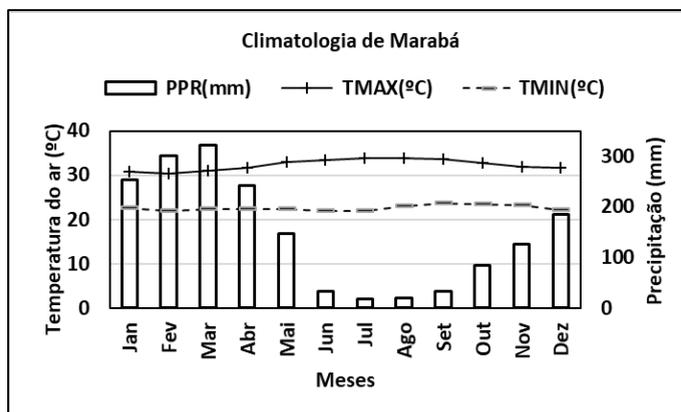


Figura 3. Variabilidade mensal de precipitação e temperatura do ar no município de Marabá.

Fonte: Autores (2023).

A diferença entre as temperaturas máximas e mínimas do clima passado e o atual mostram um aumento de 0,2°C de ambas as temperaturas do ar, nos meses de janeiro a maio, julho e novembro (Figura 4). O maior valor de mudança foi observado na temperatura máxima do ar no mês de setembro, com um valor de 0,4°C.

As precipitações também apresentaram mudança de padrão climatológico, com valores percentuais mais expressivos nos meses de agosto e setembro, meses de baixos volumes de precipitações. Nesses meses foi observada uma redução de 31% e 27% dos volumes mensais de precipitação, nos meses de agosto e setembro, respectivamente (Figura 5).

Realização



Esse cenário pode ser intensificado em anos de anomalias climáticas, conforme já descrito anteriormente.

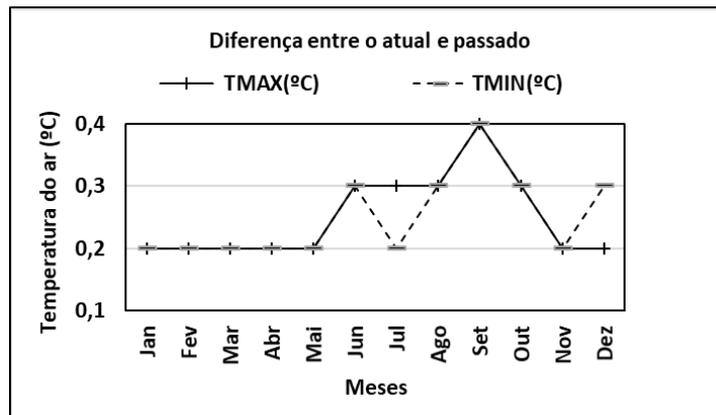


Figura 4. Anomalia mensal de temperatura do ar máxima e mínima. Diferença entre os períodos climatológicos atual (1991 a 2020) e passado (1981 a 2010).

Fonte: Autores (2023).

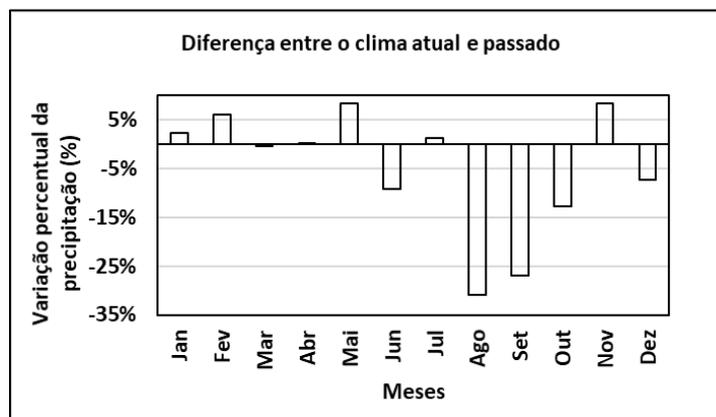


Figura 5. Anomalias mensal do percentual de precipitação. Diferença entre os períodos climatológicos atual e passado (1991 a 2020) e passado (1981 a 2010).

Fonte: Autores (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão da área de cultivo agrícola, elevação da produção de grãos, bem como o aumento do rebanho bovino demandam maior pressão ambiental no território, causando maior impacto sobre os processos de mudança, uso e cobertura do solo. Essas características requerem maiores demandas dos recursos naturais, principalmente o hídrico, que sem o

Realização



planejamento devido e uso irracional para a utilização desses recursos naturais, associado com a falta de infraestrutura adequada como: manejo de irrigação, regulação do uso água, fiscalização ambiental, certamente produzirão períodos de maiores riscos agroclimáticos para a região, em especial em anos anomalia climática de El Niño e de TSM positiva no oceano Atlântico, conforme descrito anteriormente.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Geociências da UFPA, através do Programa de mestrado em Gestão de Risco e Desastres Naturais-PPGGRD, pela utilização do Laboratório de Risco e Desastres Naturais do PPGGRD, cessão dos dados numéricos de sensoriamento remoto e apoio de infraestrutura computacional.

REFERÊNCIAS

- ABATZOGLOU, John T. et al. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. **Scientific data**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2018.
- DE PAIVA SILVA, T. P. et al. 2021. Políticas públicas na agricultura familiar refletindo no contexto sobre as mudanças climáticas com enfoque no programa garantia safra. **Brazilian Journal of Development**, (7)9: 94707-94726.
- DA SILVA, P. E. et al. 2019. Análise de Índices de Extremos Climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o Período entre 1980 a 2013. **Anuário do Instituto de Geociências**, 42(2): 137-148.
- DUFFY, P. B.; BRANDO, P.; ASNER, G. P.; FIELD, C. B. 2015. Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 112(43): 13172–13177.
- ERFANIAN, A.; WANG, G.; FOMENKO, L. 2017. Unprecedented drought over tropical South America in 2016: Significantly under-predicted by tropical SST. **Scientific Reports**, 7(1): 1-11.
- ESPINOZA, J. C., et al. 2014. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: The role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. **Environmental Research Letters**, 9(12): 124007.
- FUNK, C., et al. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Sci Data**, 2(1): 150066.
- GLOOR, M., et al. 2015. Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future

Realização





changes of Amazon humid forests. **Global Biogeochemical Cycles**, 29(9): 1384–1399.

HILKER, T., et al. 2014. Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 111(45): 16041–16046.

IBGE. 2022. **Contas de Ecossistemas: Produtos Florestais Não Madeireiros, estatística experimental com estudos sobre a evolução física e monetária de produção em cada bioma do país, entre 2006 e 2016**. Brasília. 72p.

IBGE, Cidades. **Produção Agrícola - Lavoura Temporária, 2020**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 junho. 2023.

IPCC. 2021. Summary for Policymakers. Clima. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, 41 p.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., et al. 2013. Spatial and temporal patterns of the recent warming of the Amazon forest. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 118(11): 5204–5215.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., et al. 2016. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. **Scientific Reports**, 6(1): 33130.

LEWIS, S. L., BRANDO, P. M., PHILLIPS, O. L., VAN DER HEIJDEN, G. M., & NEPSTAD, D. (2011). **The 2010 amazon drought**. **Science**, 331(6017), 554-554.

MARENGO, J. A., et al. 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, 38(12): 12703-12723

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. 2016. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, 36(3): 1033-1050.

MORAES, B. C. et al. 2022. Crescimento Urbano e Suas Implicações para o Tempo e Clima da Região Metropolitana de Belém do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, (15)4: 2045-2060.

SODRE, G. R. C. et al. 2015. Teleconexões oceânicas nos padrões climatológicos da Amazonia Oriental: análise dos últimos 40 anos (1974-2013). **Revista Brasileira de Climatologia**, 11 (17): 52-66.

SOUZA et al. (2020) - **Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine - Remote Sensing**, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735.