

Uso da terra e tendência de dados climatológicos no arco do desmatamento Amazônico

Land use and climatological data trends in the arc of Amazon deforestation

Julia Ribeiro*, Vandoir Bourscheidt**,

* Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, ribeirojulia@estudante.ufscar.br

** Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, vandoir@ufscar.br

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v59i0.93241>

Resumo

O arco do desmatamento Amazônico vem passando por intensa remoção de floresta desde os anos 1970, que resulta em impactos ligados não só a perda de serviços ambientais essenciais para a manutenção dos ecossistemas, como também a aspectos climatológicos. Nesse sentido, este trabalho busca avaliar as mudanças de uso das terras na região e relacionar com tendências de temperatura e precipitação (inclusive dias consecutivos secos e úmidos) encontradas através do teste modificado de Mann-Kendall. A pesquisa usou informações de uso da terra para o período entre 1985 e 2020, disponibilizados pela plataforma do MapBiomas e também dados climatológicos disponibilizados pelo INMET, cujo período variou de acordo com a disponibilidade de dados de cada estação. Foi identificado um aumento de pastagens, áreas urbanas e soja, e uma diminuição de formações florestais e savânicas. Através do teste de Mann-Kendall, foram encontradas, de forma geral, tendências de aumento de temperatura nas diferentes escalas analisadas. Para a precipitação, não foi identificado um padrão claro de tendência, embora muitas estações apresentem uma redução da chuva ao longo dos anos. A associação entre as tendências de precipitação e temperatura com os diferentes usos da terra evidenciou, de forma gráfica, que as maiores tendências costumam estar associadas com maiores alterações do uso. Conclui-se, portanto, que as intensas mudanças de uso da terra podem ter influência sobre a temperatura e precipitação, o que pode gerar impactos futuros no ciclo hidrológico local e afetar diferentes setores da sociedade, reforçando a importância de ações em prol da conservação florestal.

Palavras-chave:

MapBiomas, Amazônia, Mann-Kendall, Temperatura, Precipitação.

Abstract

The Amazon Deforestation Arc has been undergoing intense forest removal since the 1970s, resulting in impacts linked not only to the loss of essential environmental services for the maintenance of ecosystems, but also to climatic aspects. In this sense, this work seeks to evaluate the changes in land use in the region and relate them to temperature and precipitation trends (also

in terms of consecutive dry and wet days) found through the modified Mann-Kendall test. The research used land use information for the period between 1985 and 2020, provided by the MapBiomas platform and climatological data provided by INMET, whose period varied according to the availability of data from each station. An increase in pastures, urban areas and soybeans was identified, and a decrease in forest and savanna formations. Through the Mann-Kendall test, trends of temperature increase were generally found in the different scales analyzed. For precipitation, no clear trend pattern was identified, although many stations show a reduction in rain over the years. The association between precipitation and temperature trends with different land uses graphically showed that the greatest trends are usually associated with greater changes in use. It is concluded, therefore, that intense changes in land use can influence temperature and precipitation, which can generate future impacts on the local hydrological cycle and affect different sectors of society, reinforcing the importance of actions in favor of forest conservation.

Keywords:

MapBiomas, Amazon, Mann-Kendall, Temperature, Precipitation.

I. INTRODUÇÃO

A região conhecida como “Arco do Desmatamento Amazônico” constitui uma parcela significativa da Amazônia Legal (MAURANO et al., 2019), esta região tem sido palco de desmatamento contínuo desde a inauguração da Rodovia Transamazônica em 1970 (FEARNSIDE, 2005). Observou-se um aumento progressivo nas taxas de desmatamento a partir de 1991, com picos ocasionais relacionados a forças econômicas. Um exemplo notável é o pico de desmatamento em 1995, atribuído à implementação do Plano Real (FEARNSIDE, 2006). Além disso, o modelo de ocupação predominante na região, que ainda se baseia no desenvolvimento econômico, tem sido um fator motivador para o aumento do desmatamento (FERREIRA, VENTICINQUE, ALMEIDA, 2005).

Souza e Lima (2023), demonstram que a ocupação da Amazônia Legal, foi pautada em um modelo colonialista, onde o progresso da região ocorre apenas por ações de agentes externos, acarretando a desestruturação social e também o crescimento urbano sem planejamento, afetando as dinâmicas de uso do solo na região. Ramos (2014) destaca algumas das características do processo de desmatamento que ocorreu na década de 1970 na região de estudo, que era pautada na abertura de estradas para expansão urbana, exploração de madeiras nobres que posteriormente viraram florestas exploradas para a agricultura familiar e pastagens de gados e depois se transformaram em grandes propriedades rurais.

Desse modo, o arco do desmatamento compreende uma grande área que passa por diversos estados, envolvendo o oeste do Maranhão, sul do Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre, sendo considerado a principal área afetada pelo desmatamento, concentrando cerca de 75% do desmatamento da Amazônia Legal (OVIEDO

et al., 2019). A partir do ano de 2020, o desmatamento da região teve um aumento considerável e o tamanho médio das áreas desmatadas é 61% maior do que nos últimos 10 anos. Esse processo é resultado principalmente da ausência de políticas públicas referentes a posse ilegal de terras de domínio público e os processos ilegais de mineração, além da paralisação de programas governamentais importantes, como o Fundo Amazônia (TRANCOSO, 2021).

Os impactos do desmatamento em larga escala refletem diretamente na perda de serviços ambientais, como o déficit da manutenção da biodiversidade, diminuição de estoques de carbono e ameaças ao solo. Além dos impactos voltados para os serviços ecossistêmicos, existem ainda reflexos diretamente sobre aspectos climatológicos, influenciando principalmente a temperatura e a precipitação do local afetado (FEARNSIDE, 2006).

A influência significativa da região Amazônica em várias partes do Brasil, mediada por sistemas meteorológicos robustos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (PORTELLA et al., 2022), pode resultar em modificações nos padrões de precipitação e temperatura. Essas alterações não se limitam apenas ao arco do desmatamento, mas podem se estender a outros estados brasileiros, uma vez que a região amazônica desempenha um papel crucial nos mecanismos de retroalimentação (FEARNSIDE, 2006).

Um dos impactos mais notáveis, que está diretamente ligado à precipitação, é a diminuição da evapotranspiração devido ao desmatamento da vegetação nativa. Este fenômeno pode levar a Amazônia a enfrentar um processo de savanização no futuro, transformando aproximadamente 60% da região em ecossistemas que se assemelham ao cerrado (FEARNSIDE, 2006). Esta transformação ecológica tem implicações profundas para a biodiversidade e o clima regional. Pesquisas conduzidas por Souza et al. (2019) e Moreira et al. (2023) destacam alterações climáticas significativas na região da Amazônia Legal. Os resultados desses estudos indicam um aumento predominante de pastagens, que consequentemente levou a um incremento no escoamento superficial. Este fenômeno está associado a uma diminuição nas taxas de precipitação e evapotranspiração, sugerindo uma tendência para a intensificação de períodos mais quentes e secos. Além disso, os autores identificaram tendências negativas de precipitação em áreas que sofreram uma extensa conversão de florestas em pastagens.

Essas descobertas ressaltam a necessidade de políticas de conservação eficazes para mitigar os impactos das mudanças climáticas na região da Amazônia Legal. A conversão de florestas em pastagens pode ter implicações de longo alcance para o clima e a biodiversidade da região. Portanto, é crucial entender e abordar essas questões para garantir a sustentabilidade da Amazônia Legal.

As alterações nos padrões de uso da terra possuem a capacidade substancial de modificar os padrões climatológicos, incluindo temperatura, evapotranspiração, precipitação, entre outros componentes. As pressões ambientais intensas, geralmente resultantes de atividades humanas na região, estão ameaçando a estabilidade climática, ambiental e ecológica da Amazônia (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007).

Nesse sentido, complementando os estudos mencionados, o presente artigo tem como objetivo utilizar os dados climatológicos e de uso e cobertura da terra para realizar uma análise espaço-temporal no entorno de estações meteorológicas localizadas no arco do desmatamento Amazônico, de forma a avaliar as tendências da temperatura e precipitação nessas regiões usando o teste de Mann-Kendall, e posteriormente estabelecer as possíveis relações com o uso da terra.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo, conforme a Figura 1, foi definida com base no desmatamento observado na região da Amazônia Legal no ano de 2021. A Amazônia Legal, que pertence a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia- SUDAM, a partir da LEI COMPLEMENTAR Nº 124, DE 3 DE JANEIRO DE 2007 (BRASIL, 2007) e, de acordo com esta, abrange os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Rondônia, Roraima, Tocantins, Pará e Maranhão (em sua porção oeste do meridiano 44°).

Dados do IBGE (2022) mostram que essa área corresponde a cerca de 58,9% do território brasileiro, ocupando 5.015.067,749 km². As informações foram coletadas do PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite), que está disponível no TerraBrasilis, uma plataforma desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para organizar o acesso e uso dos dados georreferenciados para fins de monitoramento ambiental.

Em relação à climatologia da região, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, a localização pode conter três tipos diferentes de zonas climáticas: “Af”, “Am” e “Aw” (XU, et al., 2022). A zona “Af” refere-se ao clima tropical chuvoso equatorial com precipitação durante todo o ano, enquanto “Am” refere-se ao clima tropical chuvoso de monção com uma estação seca, e a zona “Aw” refere-se ao clima tropical chuvoso de savana com chuvas de verão. Em geral, a região da Amazônia Legal tem um clima tropical chuvoso com variações de precipitação, e tem uma temperatura média acima de 18°C no mês mais frio e precipitação anual variando de 1600 a 3100mm (TERASSI, 2023). A umidade da região resulta tanto dos processos de evapotranspiração quanto da interação do fluxo de umidade do Atlântico Equatorial com os ventos alísios (ROCHA; CORREIRA; FONSECA, 2015).

Os dados disponíveis na plataforma do MapBiomas foram utilizados para fazer a análise do uso da terra na região de estudo e foram obtidos dados para os anos 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020, sendo esses recortados para a área de interesse.

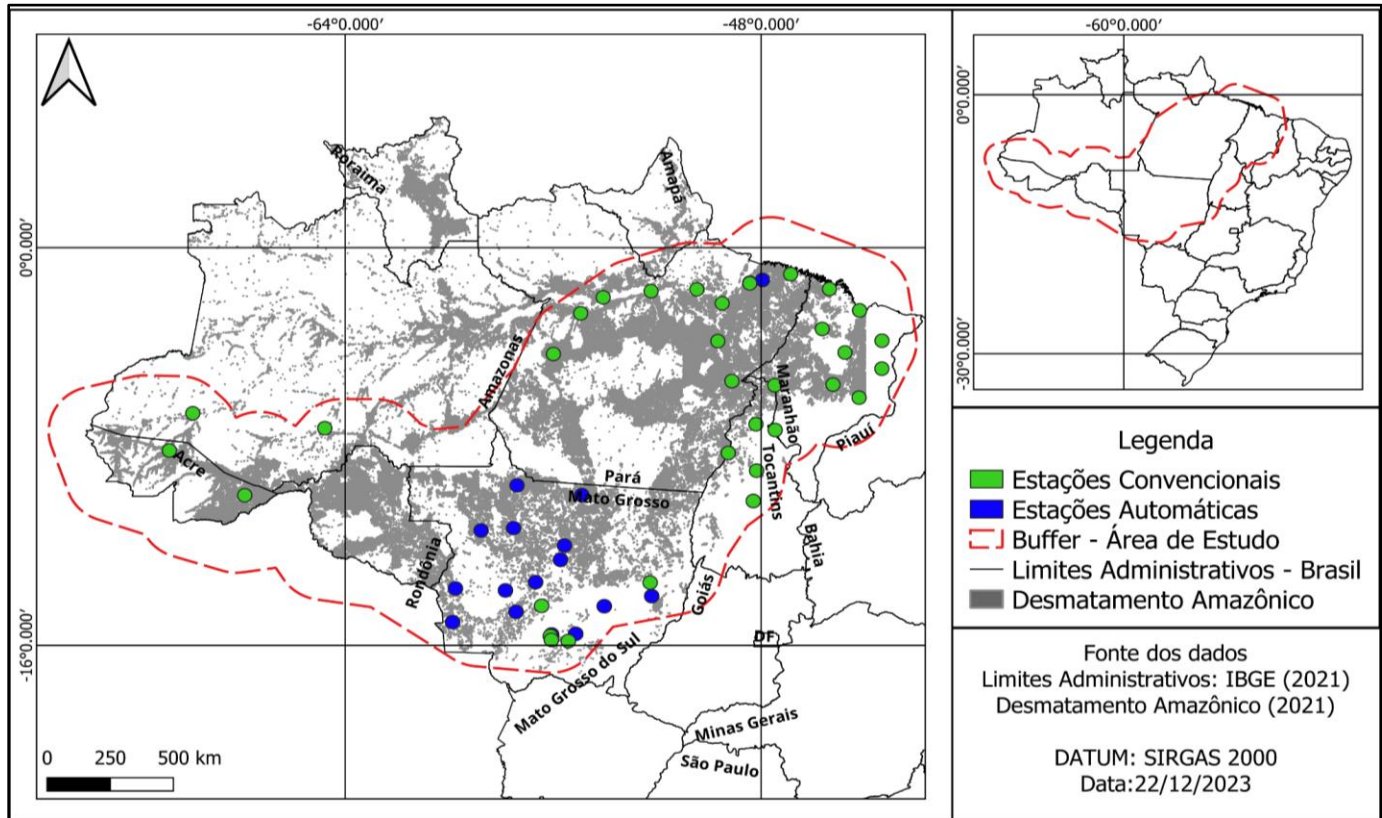


Figura 1 - Área de estudo. Fonte: os autores

Para as análises posteriores, foi criado um buffer de 30 Km ao redor de cada estação, dentro do qual foram extraídas informações sobre o uso das terras. Essa distância foi definida com base no estudo de Yaung et al. (2021), que indica que a área de maior influência sobre o clima de um local pode ser limitada a raios de 20 a 30 km. Para extrair os dados de uso de forma sistemática para todas as estações e para os anos de interesse, foi utilizada a ferramenta *ModelBuilder* do Software ArcGis Pro 3.1.2. Trata-se de uma linguagem de programação visual voltada para o processamento de fluxos em dados espaciais. As informações extraídas foram reclassificadas de acordo com a tabela disponibilizada também na plataforma do MapBiomas, Coleção 7.

Para analisar o uso e cobertura das terras entre 1985 e 2020, foi elaborado inicialmente um gráfico com o percentual de cada classe de uso, agrupando os resultados das estações convencionais e estações automáticas. Vale ressaltar que usos da terra que apresentaram menos que 5% de variação ao longo do tempo (1985 – 2020) foram desconsiderados para essa análise, para que os resultados visuais não ficassem poluídos.

Posteriormente, uma análise mais detalhada do uso da terra foi feita em duas estações (uma convencional e uma automática), além de buscar estabelecer uma correlação entre as mudanças dos usos e os resultados do teste de tendência de Mann-Kendall.

Para a análise climática, foram selecionadas estações meteorológicas convencionais que possuíam ao menos 35 anos de dados, e também estações automáticas, com data de início de coleta de dados entre 2002 e 2006, uma vez que a instalação das estações nas diferentes cidades ocorreu em momentos distintos. Os dados climáticos foram coletados diretamente na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET, 2023) para os dois tipos de estações. Dessa forma, foram selecionados os dados de temperatura e precipitação nas escalas diárias, mensais e anuais, para posterior escolha de qual escala temporal os dados seriam analisados. O nome, o código, a altitude (m), o período de dados e o percentual de falha de cada estação podem ser observados na Tabela 1.

Ao todo, foram selecionadas 52 estações, sendo 33 convencionais e 19 automáticas. O percentual de falhas médio foi de 23.7% para as estações automáticas, sendo este muito superior ao das convencionais, que apresentou, em média, 9.1% de falhas. Essa diferença pode resultar de diferentes fatores, entre eles a falta do acompanhamento diário das informações coletadas pelas estações automáticas, como ocorre para as convencionais. Outro se refere à limitação orçamentária do próprio Inmet, com dificuldades para garantir a manutenção dos equipamentos a nível nacional, e os entraves burocráticos que envolvem o deslocamento de corpo técnico para a manutenção dos equipamentos. O percentual de falhas observado irá refletir na quantidade de dados efetivamente utilizada em cada teste de tendência, uma vez que um determinado mês ou ano é excluído da análise caso a quantidade de dias seja inferior a um determinado limiar, conforme será descrito mais adiante. Vale destacar que não foram aplicadas técnicas de preenchimento de dados devido à distância entre as estações, o que poderia implicar em resultados incoerentes.

Tabela 1- Nome, código, altitude, período dos dados e percentual de falha das estações.

Tipo da estação	Nome e Código	Altitude (m)	Período dos dados	Percentual de Falha (%)	
				Precipitação	Temperatura
AUTOMÁTICAS	Água Boa - A908	440	2006 - 2021	27,75	20,70
	Apiacás - A910	217,75	2006 - 2021	25,21	21,87
	Belém - A201	21,17	2004 - 2021	11,12	11,12
	Campo Novo dos Parecis- A905	525,41	2002 - 2021	38,38	26,56
	Campo Verde - A912	748,27	2006 - 2021	30,58	18,41
	Castanhal - A202	47,13	2003 - 2021	14,51	10,56
	Comodoro - A913	576,87	2006 - 2021	24,59	24,83
	Cuiabá - A901	241,56	2002 - 2021	16,07	16,02
	Guarantã do Norte - A906	283,58	2002 - 2020	34,95	29,51

	Juara - A914	236,43	2006 - 2020	28,82	28,49
	Juína - A920	365,39	2006 - 2021	22,81	21,85
	Palmas - A009	291,87	2004 - 2021	14,89	14,78
	Paranatinga - A915	476,91	2006 - 2020	44,28	41,14
	São José do Rio Claro - A903	339,59	2003 - 2021	24,91	15,85
	São Luís - A203	54,8	2003 - 2021	23,46	8,75
	Sinop - A917	366,57	2006 - 2020	31,25	26,16
	Sorriso - A904	379,31	2002 - 2020	31,36	20,84
	Tangará da Serra - A902	440,01	2003 - 2020	23,89	22,52
	Vila Bela da Sant. Trindade - A922	213	2006 - 2020	28,54	23,25
CONVENCIONAIS	Araguaína - 82659	231,85	1984 - 2021	6,84	1,68
	Bacabal - 82460	26,6	1980 - 2021	10,27	6,47
	Barra do corda - 82571	154,17	1980 - 2021	3,90	0,86
	Belém - 82191	7,13	1980 - 2021	0,20	0,08
	Belterra - 82246	164,3	1980 - 2021	2,37	0,15
	Breves - 82188	9,8	1980 - 2021	17,97	14,57
	Cametá - 82263	9,93	1980 - 2021	1,95	0,00
	Canarana - 83270	430	1987 - 2021	35,02	19,15
	Carolina - 82765	182,94	1980 - 2021	2,24	0,48
	Caxias - 82476	96,67	1980 - 2021	8,62	10,86
	Chapadinha - 82382	104	1980 - 2021	5,11	2,76
	Colinas - 82676	175,56	1980 - 2021	4,67	8,10
	Conceição do Araguaia - 82861	189,02	1980 - 2021	2,74	0,50
	Cuiabá - 83361	157,7	1980 - 2021	21,72	5,93
	Diamantino - 83309	274,02	1980 - 2021	26,20	8,43
	Eirunepé - 82610	123,42	1980 - 2021	27,57	14,80
	Imperatriz - 82564	126,33	1980 - 2021	8,54	6,35
	Itaituba - 82445	24,5	1980 - 2021	1,98	0,01
	Lábrea - 82723	62,23	1980 - 2021	21,78	8,85
	Marabá - 82562	101,66	1980 - 2021	4,71	7,13
	Monte Alegre - 82181	100,52	1980 - 2021	2,95	1,20
	Padre Ricardo Remetter - 83364	140	1986 - 2021	21,75	8,91
	Palmas - 83033	291,68	1993 - 2021	10,06	3,48
	Pedro Afonso - 82863	189,53	1980 - 2021	4,77	0,57
	Porto de Moz - 82184	13,08	1980 - 2021	2,42	0,88
	Rio Branco - 82915	160,71	1980 - 2021	13,85	0,88
	São Luís - 82280	32,58	1980 - 2021	3,16	2,39
	São Vicente - 83363	786,99	1985 - 2021	60,07	40,91
	Tarauacá - 82807	172,27	1980 - 2021	22,70	9,69
	Tracuateua - 82145	24,68	1980 - 2021	3,81	2,67
	Tucuruí - 82361	27,83	1980 - 2021	10,20	7,80
	Turiacu - 82198	34,48	1980 - 2021	6,19	6,63
	Zé Doca - 82376	46,71	1980 - 2021	7,39	6,47

Fonte: Os autores

Para a análise de tendência, foi usado o teste de Mann-Kendall, um teste não paramétrico baseado em ranqueamento, frequentemente usado na análise de séries temporais (JÚNIOR; LUCENA, 2020), e que possui a seguinte fórmula (Equação 1):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Onde x_j é o primeiro valor depois de x_i em um total de n número existentes na série temporal analisada (JÚNIOR; LUCENA, 2020). O sinal é definido por (Equação 2):

$$\text{sinal} = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Valores positivos, portanto, indicam uma tendência crescente, e valores negativos indicam propensão decrescente (SANTOS et al., 2020). Uma vez que os dados utilizados no trabalho, em escala diária ou mensal, não podem ser considerados totalmente independentes no tempo, isto é, são auto correlacionados, uma versão modificada do teste original é adotada, conforme descrito por Hamed e Rao (1998), utilizando a seguinte equação de variância (Equação 3):

$$V \cdot (S) = \text{VAR}(S) \cdot \frac{n}{n \cdot s} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \cdot \frac{n}{n \cdot s} \quad (3)$$

Com $n/n \cdot s$ dado por (4):

$$\frac{n}{n \cdot s} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n+2)} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)ps(i) \quad (4)$$

Sendo $ps(i)$ o coeficiente resultante da função de autocorrelação para um determinado $lag - i$. Com base na variância $V^*(S)$, o índice padronizado e a significância para o teste estatístico $Z (Z \cdot MK)$ podem ser calculados de forma semelhante ao original, indicando se existe ou não tendência (positiva ou negativa) nos dados (Equação 5):

$$Z \cdot MK = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V \cdot (S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V \cdot (S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Os procedimentos para a obtenção do índice descrito foram realizados na linguagem python, utilizando o pacote `pymannkendall` (SHOUROV et al, 2023), que adota o nível de significância de 0,05 (95%) como padrão. Com o mesmo pacote, também foi calculado o valor de Theil-Sen's Slope sazonal (THEIL, 1950; SEN, 1968;

HIRSCH et al., 1982), que indica a intensidade da tendência (inclinação da reta) levando em conta a sazonalidade dos dados, sendo representado pela Equação 6 (HIRSCH et al., 1982):

$$d_{ijk} = \frac{X_{ij} - X_{ik}}{j - k} \quad (6)$$

Onde X_{ij} e X_{ik} se referem aos pares de dados em cada passo; j e k se referem aos índices de tempo de cada par; e i se refere a periodicidade/sazonalidade considerada (no caso deste trabalho, os períodos recebem valores de 1, 12 e 365 para as séries anuais, mensais e diárias). E, conforme Hirsch et al. (1982), o valor da inclinação da reta (B) vai ser dado pela mediana de d_{ijk} .

De forma complementar à análise do teste de Mann-Kendall modificado e do Theil-Sen's Slope, foram elaborados gráficos que mostram a temperatura e precipitação, anual e mensal, dos dois tipos de estações, buscando uma melhor visualização dos resultados encontrados.

Para que os resultados do teste de tendência de Mann-Kendall fossem mais acurados, foi realizada uma filtragem prévia nos dados coletados. Para isso, caso houvesse mais de 9 (90) dias sem dados em certo mês (ano), esse mês(ano) era retirado da análise. Já os dados diários foram filtrados usando um limite máximo de duas horas de dados faltantes a cada dia. Além disso, para calcular as tendências sobre os dados de precipitação, foram usados tanto valores acumulados como de precipitação máxima, buscando, dessa forma, observar também tendências sobre extremos diários. Esses procedimentos foram aplicados nas diferentes escalas temporais (diária, mensal e anual) e para os dois tipos de estação, o que implica que para as estações convencionais os valores diários equivalem ao valor médio, e para as estações automáticas (com dados horários) esses mesmos valores refletem tanto o acumulado como a máxima precipitação horária registrada no dia.

Para analisar a precipitação na área de estudo de forma mais aprofundada, foram implementados também em código python os índices climáticos de Dias Consecutivos Secos (DCS) e Dias Consecutivos Úmidos (DCU). O DCS é baseado no maior número de dias consecutivos em que não há ocorrência de chuva (HANGAI, 2023). Já o DCU é calculado a partir do máximo de dias consecutivos que há ocorrência de precipitação. Vale destacar que esses índices foram calculados apenas para a escala anual. Por fim, foram implementados códigos para visualizar a correlação entre o resultado da inclinação da reta encontrado nos testes de tendência de Mann-Kendall (Theil-Sen's Slope) e as porcentagens de variação do uso e cobertura das terras. Todos os códigos foram desenvolvidos no ambiente Google Collaboratory ou Colab¹.

¹ https://colab.research.google.com/drive/1qBXqaxlQlegX_09NICEJzw25_zHJWy6R#scrollTo=fOrW9IHeFNWZ

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dinâmica do uso da terra

Diante das alterações ocorridas nos 35 anos analisados, nota-se que, para as estações automáticas (Figura 1a) é possível observar a diminuição da formação florestal, bem como o aumento das pastagens na região, sendo observado um pico no ano de 2010, onde as pastagens ocupavam 32,24 % das terras. Esse pico de pastagens em 2010 pode ter sido resultado do aumento da produção de bubalinos na região, que aumentou 4,3% em comparação ao ano de 2009; esse aumento foi encontrado principalmente no Pará e no Amapá (IBGE, 2011). Além disso, nota-se que desde 2005 as pastagens ocupam mais área do que as formações florestais. As formações savânicas também apresentaram decaimento ao longo dos anos e o plantio de soja aumentou de forma significativa, passando a ocupar mais área do que as formações savânicas a partir de 2011 aproximadamente. O aumento expressivo da soja na região acompanha o aumento da produtividade e área cultivada da soja no Brasil, que ocorreu principalmente entre 1970 e 2011 (DALL'AGNOL, 2011).

Para as estações convencionais (Figura 1b), nota-se a diminuição dos dois tipos de formações naturais (florestal e savânica), e o aumento de pastagens, que ocupa mais área que a formação savânica desde o ano de 1996 (aproximadamente). O aumento das pastagens na região, para os dois tipos de estação estudadas, pode ser resultado também, além do aumento de produção de bubalinos, de uma política de crédito rural que teve ênfase no avanço agropecuário, vigente a partir do ano de 1996 (Decreto nº1.946), chamada de Política Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (LOPES et al., 2023).



Figura 2 - Porcentagem de uso das terras das estações (a) automáticas e (b) convencionais. Fonte: Os autores

A Figura 3 demonstra um recorte da estação automática de Água Boa (A908). Pela análise temporal dos usos da terra ao redor da estação, é possível notar o aumento de plantio de soja e pastagens na região. No ano de 1985, as pastagens já estavam presentes, ocupando 29,14% da área, e em 2020, ocupavam cerca de 31,08%, exibindo maior área ocupada do que as formações savânicas.

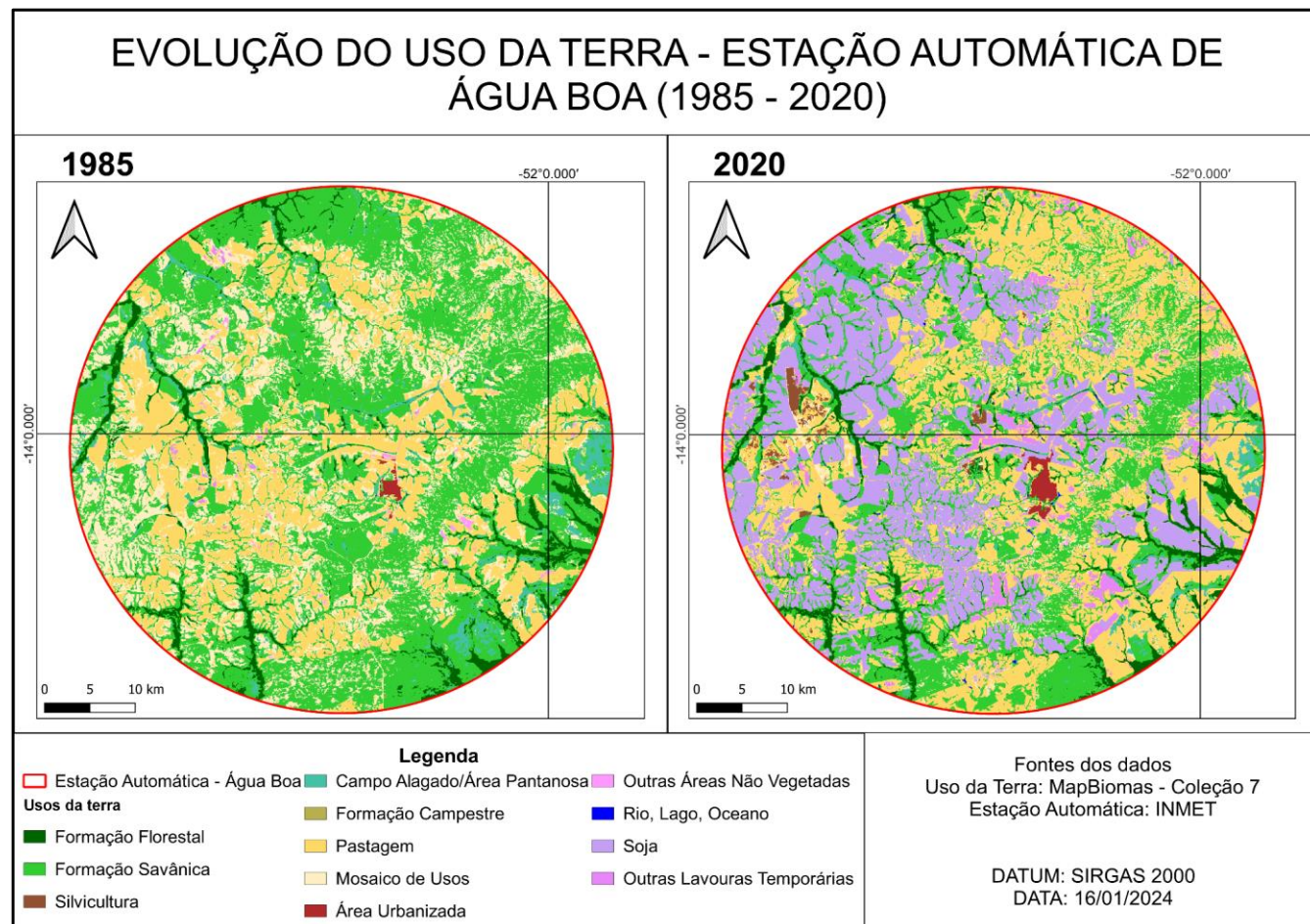


Figura 3 - Usos da terra em estação automática. Fonte: Os autores

Esse aumento relativamente pequeno das pastagens pode ser resultado do avanço da agricultura na região. O plantio de soja, que representava menos de 0,05% da área em 1985, começou a expandir significativamente em 1990, atingindo 2,99% da área. A partir de então, houve um crescimento acelerado até 2015, substituindo principalmente as pastagens. Seguindo o crescimento acelerado, no ano de 2020, a soja ocupava 25,78% da área. O grande aumento do plantio de soja é resultado do avanço da fronteira agrícola, que foi impulsionada por diversos programas governamentais de desenvolvimento econômico da Amazônia Legal (BARROS et al., 2020).

A Figura 4, mostra um mapa da estação convencional de Araguaína, destacando as mudanças temporais no uso da terra. Nota-se que a formação florestal, que era responsável por 28,84% da região no ano de 1985, passou a ocupar 20,84% da área em 2020, devido principalmente à conversão desse uso do solo em pastagens ou outros tipos de uso da terra. A formação savânica teve pouca alteração, com 32,91% em 1985 e no ano de 2020 ocupava 32,43%, uma vez que as pastagens avançaram mais em sobre a formação florestal. As pastagens tiveram um aumento considerável, passando de 29,14% da região em 1985 para 37,04% em 2020, resultado do

grande avanço da pecuária no local. Já as formações campestres tiveram diminuição. Em 1985 essa classe ocupava 5,68%, e em 2020 essa porcentagem caiu para 2,62%, possivelmente transformada em pastagem. Por fim, a área urbana também se expandiu: no ano de 1985 ocupava somente 0,76% do local, mas no ano de 2020 chegou a ocupar 2,40% da região.

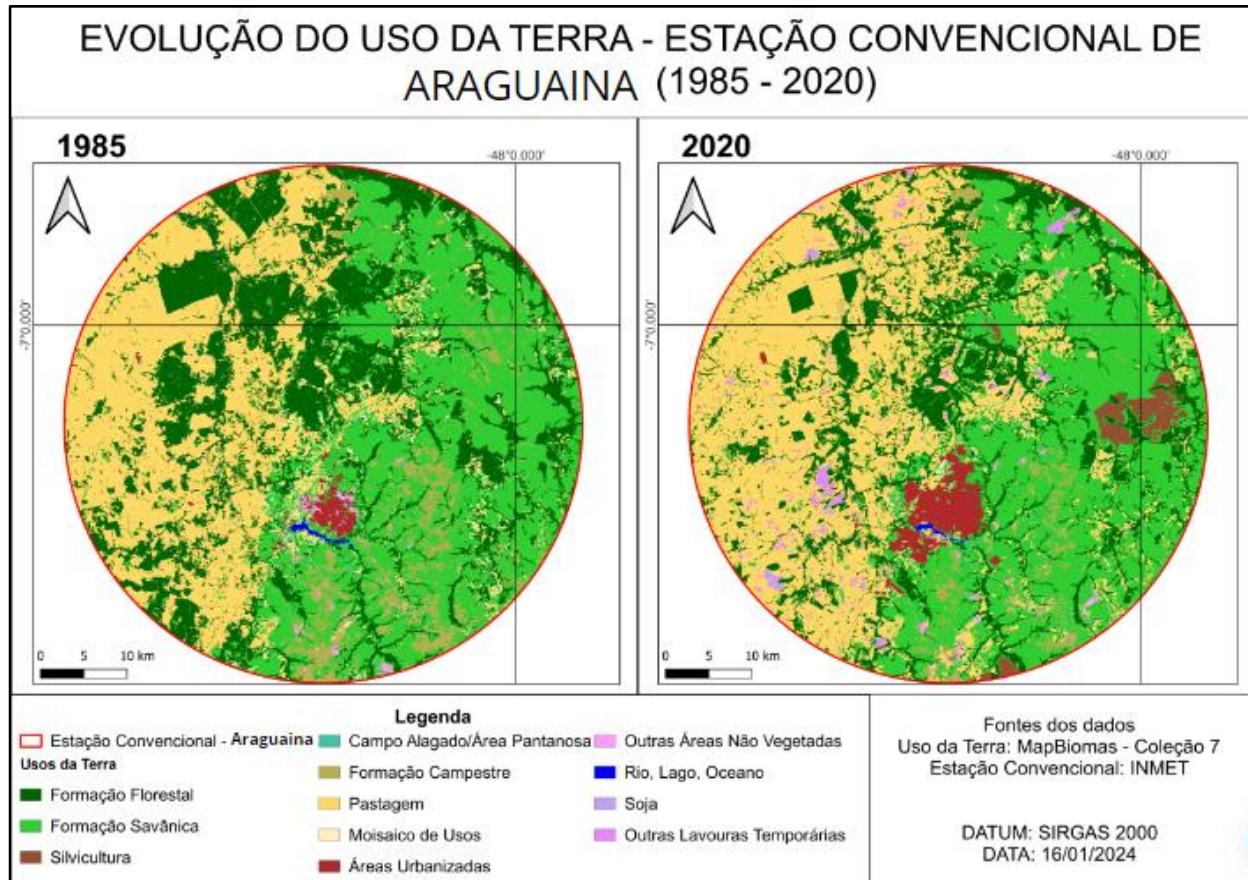


Figura 4 - Usos do solo em estação convencional. Fonte: Os autores

Conforme destacado por Alves et al. (2017), a área amazônica experimenta alterações profundas no manejo e na abrangência do solo, resultantes do progresso econômico em curso na região (Mello e Artaxo, 2017). Essas mudanças podem afetar diretamente o clima regional e global, pois interferem em aspectos como a insolação, refletância da superfície, o balanço hídrico e energético, além de aumentar a superfície exposta, tornando-a mais seca (ALVES et al., 2017).

Além disso, Artaxo et al. (2014), demonstram grandes ligações entre o clima, os usos da terra e o funcionamento ideal da Amazônia, uma vez que a vegetação natural é responsável por controlar uma série de processos físico-químicos que influenciam na formação de nuvens, como a quantidade de núcleos de condensação das nuvens, balanço de radiação, entre outros. Dessa forma, o desmatamento da região da Amazônia tem papel importante na quantidade de chuvas e na temperatura, pois em locais com grandes áreas

desmatadas, a quantidade de precipitação pode reduzir, uma vez que a quantidade de evapotranspiração da região decai (ARTAXO et al., 2014).

Dados climáticos e teste de tendência

O resultado dos testes de estatísticos das estações automáticas pode ser observado na Tabela 2. Nota-se que em todas as escalas temporais analisadas, mais da metade do total de estações mostraram uma tendência de aumento de temperatura no período analisado. Esse comportamento pode estar associado a dois aspectos principais: a não ocorrência de aumento da vegetação nas áreas (uma queda é observada, na verdade), o que poderia contribuir com a redução da temperatura, a exemplo do que ocorre em centros urbanos (HWANG et al., 2023); e também por conta do padrão observado para os dados observacionais a nível nacional ou mesmo mundial, que indicam aumento em boa parte das estações de coleta (SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016).

Em relação à precipitação, as estações apresentaram poucas tendências. Além disso, as estações que demonstraram tendências (positivas e negativas) estão inseridas em áreas urbanas (estações de Belém, São Luiz e Cuiabá). Na escala anual, foram observadas tendências positivas na precipitação máxima para Cuiabá. A precipitação acumulada indicou tendência crescente na mesma estação, assim como para Belém. Já na escala mensal, a estação de Belém mostrou um aumento na precipitação acumulada, e a estação de São Luiz, também inserida em área urbana, demonstrou tendência de diminuição de precipitação. Esse comportamento remete ao possível efeito de ilha de calor urbano sobre a precipitação (ARAÚJO; DE OLIVEIRA., 2022). A única estação que mostrou tendência da precipitação máxima foi a estação de Paranatinga, mas a quantidade de falhas observadas (mais de 49%, vide Tabela 1) limitam qualquer conclusão sobre o comportamento observado.

Tabela 2 -Resultados- Análises Estatísticas das estações automáticas. Dias consecutivos secos e úmidos não foram calculados para as escalas mensal e diária por perderem o sentido nessas condições.

Resultados - Análises Estatísticas das estações automáticas					
Escala Temporal	Temperatura	Precipitação Máxima	Precipitação Acumulada	DCU	DCS
Anual	Increasing = 9	Increasing = 1	Increasing = 2	Increasing = 1	Increasing = 2
	No trend = 10	No trend = 18	No trend = 17	Decreasing = 1	Decreasing = 1
				No trend = 17	No trend = 16
Mensal	Increasing = 10	Increasing = 1	Increasing = 1	-	-
	No trend = 9	No trend = 18	Decreasing = 1	-	-
			No trend = 17	-	-
Diária	Increasing = 13	No trend = 19	No trend = 19	-	-
	No trend = 6			-	-

Increasing: tendência de aumento. Decreasing: tendência de diminuição. No trend: sem tendência. DCU: Dias Consecutivos Úmidos. DCS: Dias Consecutivos Secos

Fonte: Os autores

Em relação aos dias consecutivos úmidos (DCU), novamente os comportamentos atípicos foram observados em estações inseridas em área urbana: a estação de Belém demonstrou aumento do fenômeno, enquanto a estação de São Luís demonstrou queda do mesmo parâmetro ao longo dos anos. Para os dias consecutivos secos (DCS), duas estações demonstraram propensão de aumento do fenômeno no tempo (Palmas e Juína), enquanto uma apontou para a diminuição (São Luís). Vale ressaltar, no entanto, que as estações automáticas apresentam períodos relativamente curtos de coleta e algumas delas apresentam grandes falhas de dados. Por conta disso e também levando em consideração que DCU e DCS são restritos à escala anual, tendências de aumento (diminuição) desses parâmetros são de difícil confirmação. Resultados mais consistentes são esperados para as estações convencionais, conforme segue.

Os testes estatísticos para este caso, apresentados na Tabela 3, revelaram que, nas escalas mensal e diária, todas as estações mostraram um aumento nas temperaturas ao longo do período estudado. Já na escala anual, uma estação (Eirunepé) indicou tendência de redução da temperatura média, o que pode estar associado com lacunas nos dados, que acabam afetando a análise anual de forma mais significativa, pois esta apresenta um número significativamente inferior de amostras no cálculo das métricas de tendência. Outro aspecto a ser considerado é que a estação é extremamente isolada e cercada por floresta, o que pode influenciar na tendência decrescente observada.

Tabela 3 - Resultados - Análises Estatísticas das estações convencionais. Dias consecutivos secos e úmidos não foram calculados para as escalas mensal e diária por perderem o sentido nessas condições.

Resultados - Análises Estatísticas das estações automáticas					
Escala Temporal	Temperatura	Precipitação Máxima	Precipitação Acumulada	DCU	DCS
Anual	Increasing = 9	Increasing = 1	Increasing = 2	Increasing = 1	Increasing = 2
	No trend = 10	No trend = 18	No trend = 17	Decreasing = 1	Decreasing = 1
				No trend = 17	No trend = 16
Mensal	Increasing = 10	Increasing = 1	Increasing = 1	-	-
	No trend = 9	No trend = 18	Decreasing = 1	-	-
			No trend = 17	-	-
Diária	Increasing = 13	No trend = 19	No trend = 19	-	-
	No trend = 6			-	-

Increasing: tendência de aumento. Decreasing: tendência de diminuição. No trend: sem tendência. DCU: Dias Consecutivos Úmidos. DCS: Dias Consecutivos Secos.

Fonte: Os autores

No que diz respeito à precipitação, a escala mensal foi a que apresentou tendências mais significativas. Durante esse período, duas estações indicaram um aumento na precipitação acumulada, enquanto dez estações mostraram uma diminuição nesse parâmetro. Para a precipitação máxima mensal, também se observou um maior número de tendências negativas. Nas escalas diária e anual, poucas estações apresentaram tendência,

principalmente com redução da precipitação. É notável que, entre os tipos de estações, somente as estações convencionais exibem tendências mais significativas para a precipitação.

No que tange ao DCU e DCS, de forma similar à precipitação, poucas estações exibiram algum tipo de tendência. Duas estações mostraram propensão a diminuição de dias consecutivos úmidos, enquanto para os dias consecutivos secos, três estações mostraram diminuição e outras duas mostraram tendência de aumento do mesmo parâmetro. A título de ilustração, os parâmetros DCU e DCS foram plotados para a estação de Lábrea (Figura 5), para a qual nota-se um aumento da quantidade de dias secos (tendência positiva observada), e uma diminuição dos dias consecutivos úmidos (sem tendência ao nível de significância de 99%, mas com tendência decrescente ao nível de 90%). Também fica clara a limitação para esta informação após a filtragem dos dados.

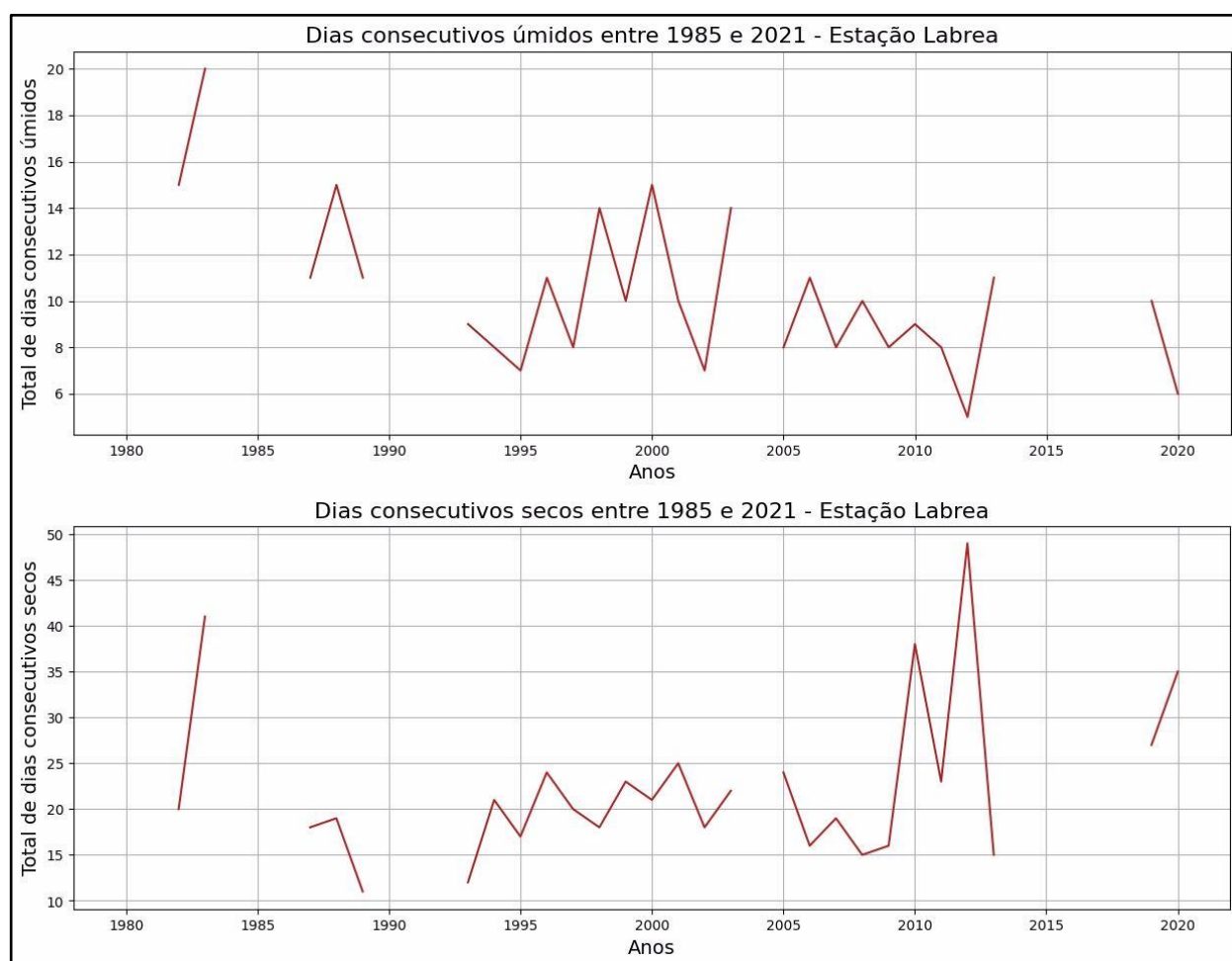


Figura 5 - Dias Consecutivos Secos e Úmidos para a estação convencional de Lábrea (Amazonas). Fonte: Os autores

Embora as tendências observadas nas diferentes variáveis e especialmente na temperatura possam estar relacionadas com as mudanças climáticas observadas a nível global, essas podem também ser resultado da

grande mudança do uso das terras na região, pois as mudanças podem impactar diretamente sobre os níveis de precipitação e da temperatura (ALVES et al., 2017).

Buscando compreender melhor as tendências de temperatura e precipitação, foram plotados gráficos de todas as 53 estações estudadas em escala anual e mensal, e alguns são apresentados no artigo a título de ilustração. Pode-se observar na Figura 6, os gráficos da temperatura e precipitação mensal da estação automática de Água Boa, e na Figura 7 nota-se os gráficos da temperatura e precipitação da estação convencional de Araguaína.

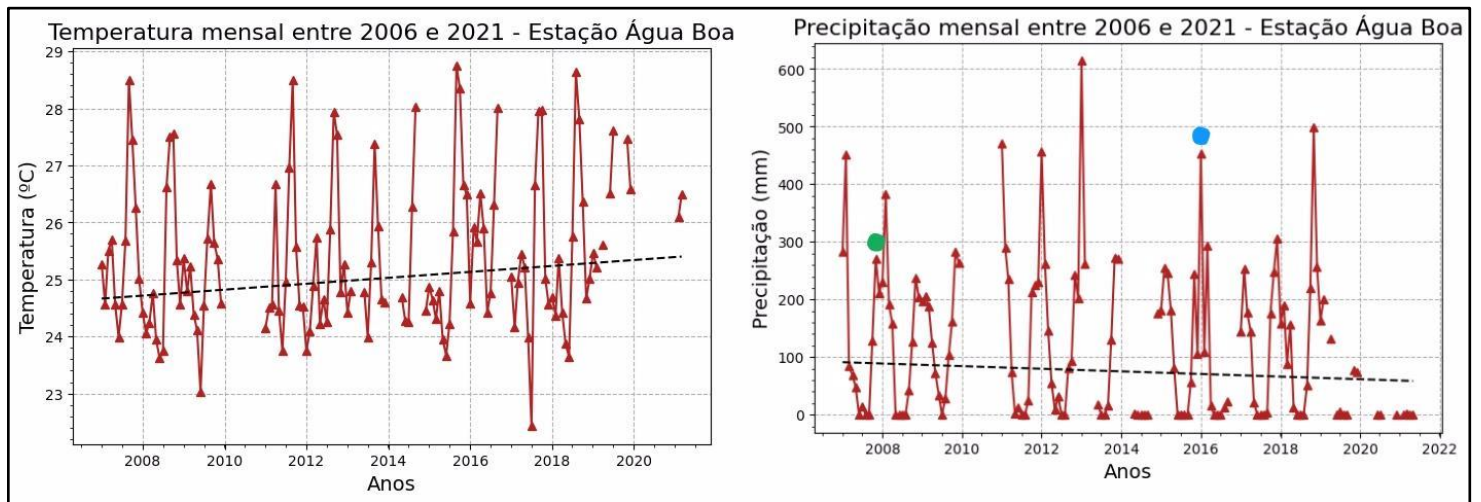


Figura 6 - Temperatura e precipitação mensal em estação automática. Pontos verdes indicam anos de La Niña. Pontos Azuis indicam anos de El Niño. Fonte: Os autores

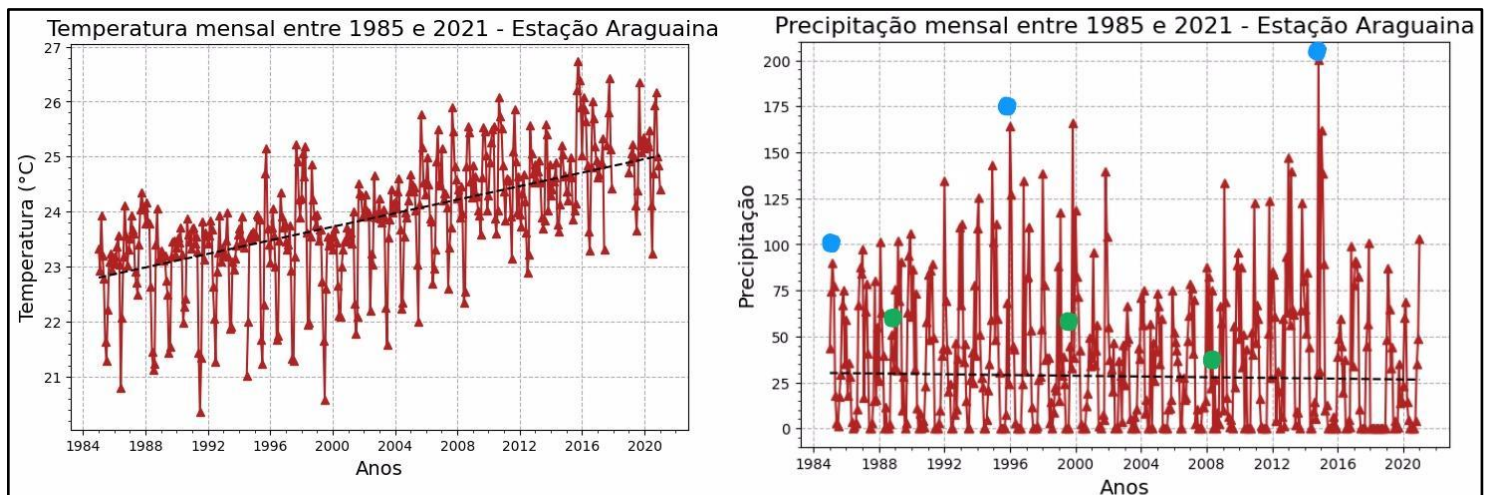


Figura 7 - Temperatura e precipitação mensal em estação convencional. Pontos verdes indicam anos de La Niña. Pontos Azuis indicam anos de El Niño. Fonte: Os autores

Além de ressaltar a tendência de aumento da temperatura nas duas estações, merece destaque o fato de que foram encontradas falhas nos dados, principalmente das estações automáticas (Figura 6). Essas falhas

podem causar incertezas nas análises, pois em grande parte os dados hidroclimáticos da região da Amazônia, são falhos e curtos (NÓBREGA, 2014). Em uma rápida comparação entre as figuras, nota-se que as estações convencionais possuem uma menor quantidade de falhas de dados. Por terem mais tempo de funcionamento (existem estações que foram instaladas antes de 1985), as estações convencionais possuem dados mais consistentes. Além disso, recomenda-se sempre que os estudos e pesquisas com o uso de dados climáticos sejam realizados em estações que possuam ao menos 30 anos de dados já coletados (GOMES, 2011).

Por fornecerem dados de períodos mais longos e apresentarem maior homogeneidade, as séries obtidas pelas estações convencionais permitem identificar, além das tendências, a dinâmica de fenômenos como El Nino/La Nina, que criam variações em toda a circulação atmosférica e tem a capacidade de alterar o clima a nível global (PEDREIRA JUNIOR et al., 2020). Essas variações mudam os padrões de precipitação e suas consequências também estão relacionadas com a magnitude dos eventos, variando de fracos até muito fortes. Araújo et al. (2023) buscou elencar os anos mais fortes de ambos os fenômenos, sendo que os anos de El Niño muito fortes foram entre 1982-83, 1997-98 e 2015-16. Nota-se que, principalmente na estação convencional (Figura 7), alguns picos de precipitação convergem com os anos de El Niño muito fortes, assim como se observa a queda de precipitação em anos de La Niña fortes (1988-89, 1999-00, 2007-08).

A figura 8 representa a espacialização das tendências (valores de slope) anuais de temperatura e precipitação. Nota-se que não existe uma predominância de estações em determinada localização que demonstraram propensão ao aumento da temperatura, mas que essas tendências são gerais. O mesmo não ocorre com a precipitação, onde as estações convencionais demonstram em média maiores valores de slope.

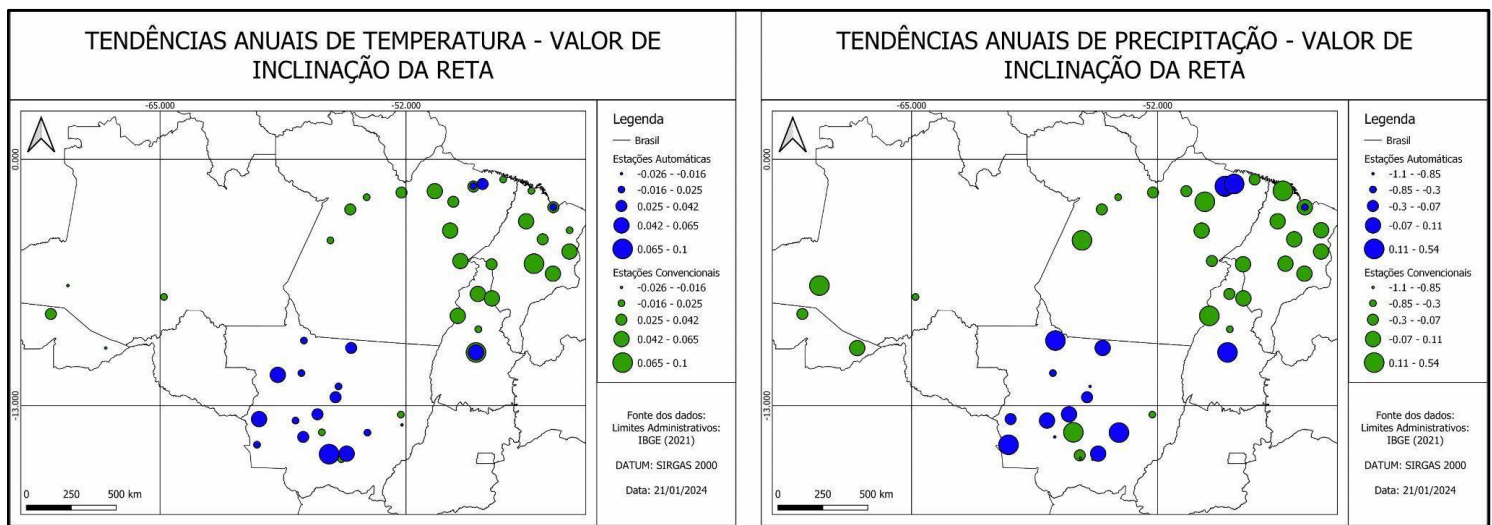


Figura 8 - Tendências anuais de temperatura e precipitação (valor de inclinação da reta - slope). Fonte: Os autores

Correlação entre o slope e as mudanças nos usos do solo

Por fim, foram criados gráficos relacionando o valor de Sen's Slope (inclinação da reta) encontrado nos testes de tendência de Mann-Kendall e as porcentagens de variação do uso e cobertura da terra. A Figura 9 representa os gráficos das estações automáticas em relação à temperatura anual e a Figura 10 representa os gráficos para as estações convencionais em relação à temperatura anual.

Para o caso das estações automáticas (Figura 9), é observada uma pequena relação entre a redução da cobertura florestal e um slope mais elevado, com o mesmo ocorrendo para a vegetação savânica. Por outro lado, o aumento das áreas de pastagem se mostrou associado com tendências de aumento (slope maior), enquanto o aumento das plantações de soja se mostrou associado com reduções de tendências da temperatura. Para a precipitação acumulada e máxima, dias consecutivos secos e úmidos, não houve uma correlação clara entre os diferentes usos da terra e os slopes encontrados.

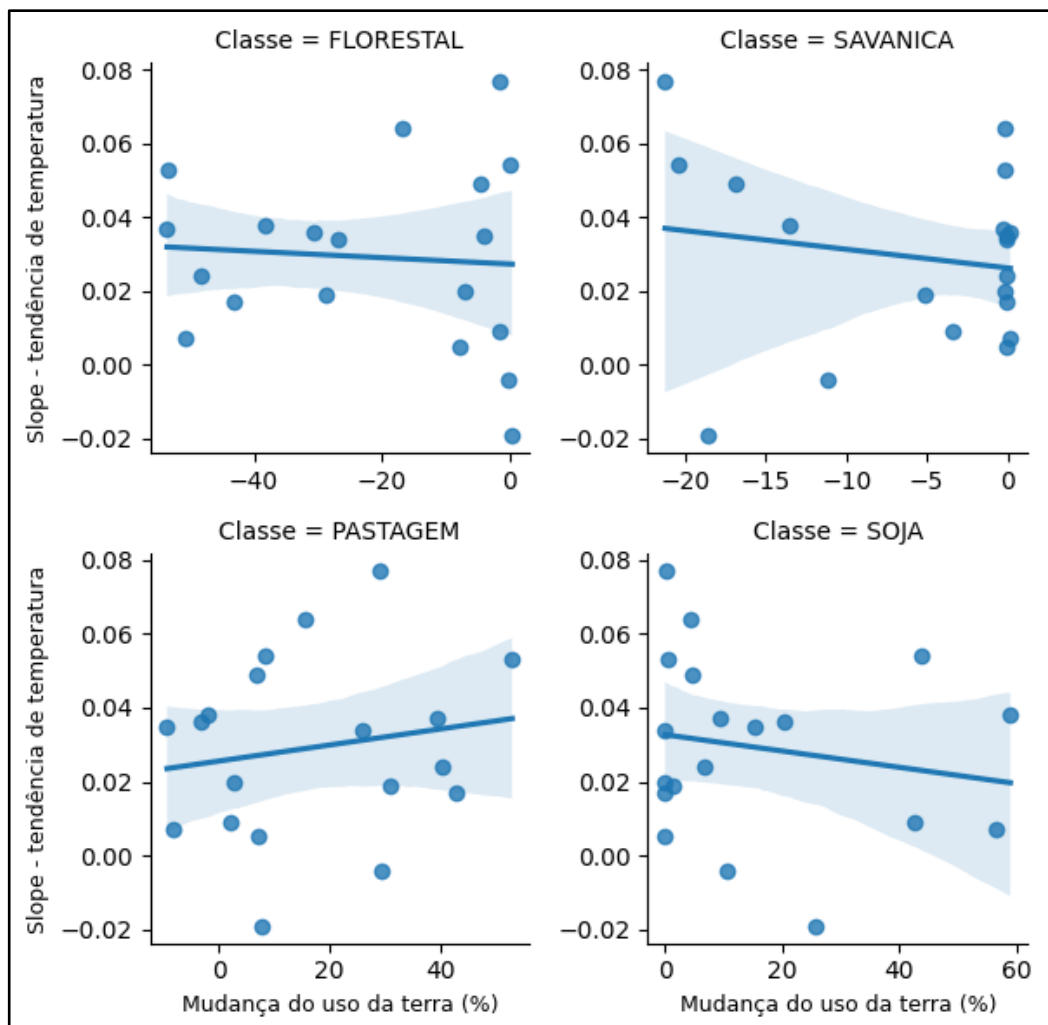


Figura 9- Correlação dos usos da terra e slope em estações automáticas. Fonte: Os autores

Para as estações convencionais (parte superior da Figura 10), nota-se uma relação negativa pequena entre o slope da temperatura e a formação florestal, ou seja, quanto maior é a diminuição da floresta, maior (positivo) é a tendência da temperatura. O mesmo ocorre para a formação savânica. Quando falamos da relação entre pastagens e temperatura, ocorre o contrário, o slope cresce conforme aumentam as pastagens. Esse padrão pode ser encontrado em todas as escalas temporais que foram analisadas (anual, mensal e diária). Diferentemente das estações automáticas, a precipitação acumulada das estações convencionais (parte inferior da Figura 10) mostrou um comportamento inverso à temperatura, com tendência de diminuição da precipitação para o aumento da classe pastagem, e a tendência de aumento das chuvas com o crescimento das classes florestais.

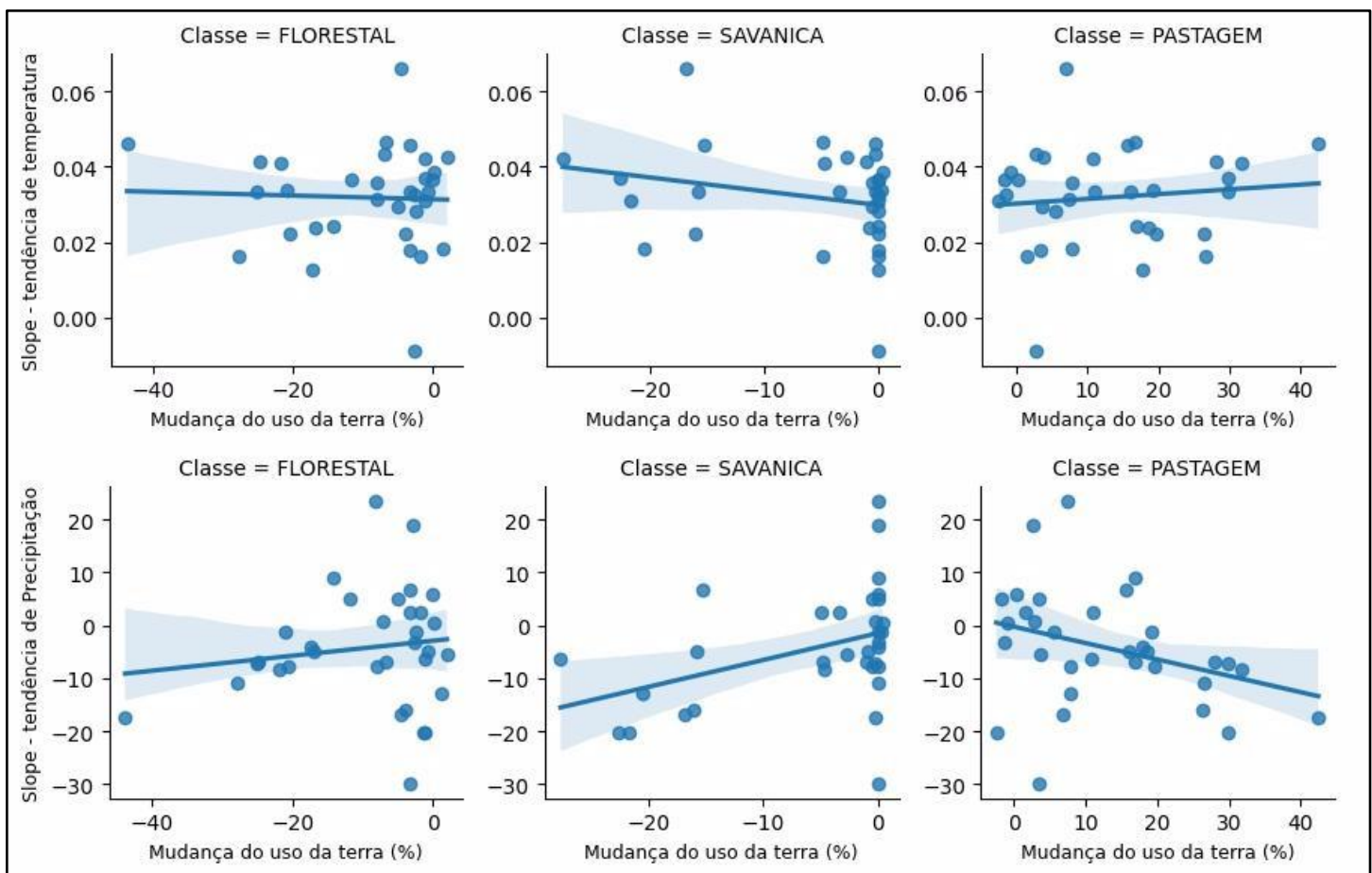


Figura 10- Correlação dos usos da terra e slope em estações convencionais. Relação com temperatura é apresentada no topo e com precipitação na base. Fonte: Os autores

Esses resultados reforçam as indicações de impacto da conversão de formações florestais/naturais principalmente sobre o aumento da temperatura. Estudos como o de Pavão (2017), evidenciam que existe um aumento significativo do albedo e da temperatura quando uma área natural é transformada em áreas de

pastagem ou em áreas urbanas. Já Nogueira et al. (2012) abordam o impacto de cultivos (soja e arroz) na temperatura e precipitação, no qual se observou também, um aumento de temperatura em escala local após o estabelecimento dos plantios de soja, o que contraria os resultados obtidos para a mesma classe no presente estudo. É importante reforçar, no entanto, que a soja é um cultivo sazonal e os dados relacionando as mudanças de classe e as tendências foram analisados de forma anual, mensal e diária (os dois últimos não apresentados). Além disso, boa parte da área convertida para a classe Soja resulta da classe Pastagem, o que também tem efeitos sobre as tendências de temperatura no entorno das estações. Para a precipitação, Nogueira et al (2012) encontraram um acréscimo pós plantio da soja, que pode ser resultado de uma circulação de mesoescala.

Desta forma, ressalta-se a importância de mais estudos voltados para entender as variações dos usos da terra e sua correlação com variáveis climatológicas, principalmente no Arco do desmatamento da Amazônica, uma vez que a região Amazônica exerce papel crucial no fornecimento de serviços ecossistêmicos, essenciais para a manutenção da biodiversidade, ciclagem de nutrientes e manutenção das retroalimentações existentes na Amazônia (FEARNSIDE, 2006).

IV. CONCLUSÕES

As tendências de Mann-Kendall demonstraram, de forma geral, uma tendência de aumento da temperatura em várias escalas temporais. Para a precipitação, embora os resultados não fiquem tão claros, muitas estações apontam para a diminuição dos volumes anuais ao longo do tempo. Esses resultados são mais consistentes nas estações convencionais, por possuir uma maior quantidade de dados e menor índice de falhas em seus dados.

A análise individualizada das tendências em relação aos usos através da correlação entre o percentual de mudança do uso e o slope resultante do teste de Mann-Kendall indica que as diminuições de florestas/savanas para pastagem e plantações de soja são acompanhadas de tendências de aumento da temperatura e de diminuição da precipitação ao longo dos anos.

As observações do presente artigo são resultado de anos de mudanças intensas no uso e cobertura das terras na área do Arco do Desmatamento Amazônico, que é marcado pelo avanço da fronteira agrícola brasileira. Desta forma, os resultados podem ser usados como embasamento para tomada de decisões sobre o avanço da agropecuária na região, que mesmo sendo importante para o desenvolvimento econômico local, deve ser elaborado de forma planejada, buscando minimizar os impactos ambientais e sociais da expansão.

Agradecimentos

Ao apoio concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) para a realização da pesquisa por meio de iniciação científica, através do processo nº 2022/08126-2..

V. REFERÊNCIAS

- ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; BOMBARDI, R. J. Sensitivity of Amazon regional climate to deforestation. *American Journal of Climate Change*, v. 6, n. 1, p. 75-98, 2017. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2017.61005>.
- ARAÚJO, C. R.; et al. Variabilidade da precipitação pluviométrica no Marajó Oriental (Soure-PA) como resposta à eventos extremos. In: XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais [...]. Aracaju: SBRH, p. 1-10, 2023.
- ARAÚJO, Y. R. V.; DE OLIVEIRA, H. M. Os impactos das mudanças climáticas em áreas urbanas. In: NUNES, M. S. (org.). *Estudos em Direito Ambiental: Desenvolvimento, desastres e regulação*. Editora Licuri, p. 161-173, 2022.
- ARTAXO, P.; et al. Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o funcionamento da floresta Amazônica. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 66, n. 3, p. 41–46, 2014.
- BARROS, M. J. B.; CANTO, O.; LAURENT, F.; COELHO, A. Fronteira agrícola e conflitos territoriais nas Amazôniaas Brasileiras: a expansão do agronegócio da soja e seus efeitos no planalto de Santarém, Pará-Amazônia-Brasil. *Ciência Geográfica*, online, v. 24, n. 2, p. 893-911, 2020.
- BRASIL. Lei Complementar nº 124, de 3 de janeiro de 2007. Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia – Sudam. Brasília, DF, 2007.
- CABRAL JÚNIOR, J. B.; LUCENA, R. L. Análises das precipitações pelos testes não paramétricos de Mann-Kendall e Kruskal-Wallis. *Mercator*, v. 19, p. 1-14, 2020.
- DALL'AGNOL, A. A soja no Brasil: evolução, causas, impactos e perspectivas. In: *Quinto Congreso de la Soja del Mercosur*, 2011, Rosário-Argentina. Anais [...]. Rosário-Argentina: Mercosul, 2011. p. 1-4. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47515/1/amelio.soja.2011.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2024.
- 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. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta amazônica*, v. 36, p. 395-400, 2006.
- FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estudos avançados*, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 157 - 166, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100010>>.
- GOMES, L. C. F. Dinâmica da temperatura da superfície em resposta às alterações na cobertura e uso do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.
- HAMED, K. H.; RAO, A. R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, v. 204, n. 1-4, p. 182-196, 1998. doi:10.1016/S0022-1694(97)00125-X

HANGAI, M. L. Análise de eventos extremos e tendências da precipitação e da temperatura por meio de séries históricas, no estado de São Paulo. 2023. 25 f. Monografia (Especialização) - Curso de Projeto de Extensão Supervisionado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023.

HIRSCH, R. J.; SLACK, R. SMITH, Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. Water Resources Research 18, 107-121, 1982. doi:10.1029/WR018i001p00107.

HWANG, B.; et al. Cooling effect of urban forests on the urban heat island in Seoul, South Korea. Plos one, v. 18, n. 7, p. e0288774, 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Amazônia Legal. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geologia/15819-amazonia-legal.html> Acesso em: 13 dez. 2023.

AGÊNCIA IBGE NOTÍCIAS. PPM 2010: Rebanho bovino nacional cresce 2,1% e chega a 209,5 milhões de cabeças. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14111-asi-ppm-2010-rebanho-bovino-nacional-cresce-21-e-chega-a-2095-milhoes-de-cabecas>. Acesso em: 15 jan. 2024.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL. Banco de Dados Meteorológicos do INMET. Distrito Federal: INMET, 2023. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/> e <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 10 nov.2023

LOPES, C. H. S.; et al. Territorialização da atividade pecuária no sudeste paraense (Amazônia brasileira). Universidade e Meio Ambiente, v. 8, n. 1, p. 33-52, 2023.

MAURANO, L. E. P.; et al. Padrões espaciais de desmatamento e a estimativa da exatidão dos mapas do PRODES para Amazônia Legal Brasileira. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 29, n.4, p. 1763-1775, dez. 2019.

SHOUROV, Md. M. H.; MAHMUD, I.; NIEMEYER, K.; NonStopAggroPop. mmhs013/pyMannKendall: v1.4.3 (v1.4.3). Zenodo. 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7536429>

MELLO, N. G. R. de; ARTAXO, P. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. Revista do Instituto de Estudos Brasileiros, Brasil, n.66, p. 108-129, abr. 2017.

MOREIRA, R. M.; et al. Precipitation Variability for Protected Areas of Primary Forest and Pastureland in Southwestern Amazônia. Climate, v. 11, n. 2, p. 27, 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/cli11020027>.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. Ciência e Cultura, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.

NÓBREGA, R. S. Impactos do desmatamento e de mudanças climáticas nos recursos hídricos na Amazônia ocidental utilizando o modelo SLURP. Revista Brasileira de Meteorologia, Recife, v. 29, n. Esp, p. 111-120, 2014.

NOGUEIRA, V. F. B.; et al. Impacto do plantio de soja e do oceano pacífico equatorial na precipitação e temperatura na cidade de Chapadinha-MA. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 5, n. 3, p. 708-724, 2012.

OVIEDO, A.; et al. O arco do desmatamento e suas flechas. Instituto Socioambiental, São Paulo, 2019.

PEDREIRA JUNIOR, A. L.; et al. Influence of El Niño and La Niña phenomena on seasonality of the relative frequency of rainfall in southern Amazonas mesoregion. RBRH, v. 25, n. 24, p. 1-8, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.252020190152>.

PORTELLA, D. A. P. da C.; et al. A IMPORTÂNCIA DA AMAZÔNIA NA DINÂMICA CLIMÁTICA DO CENTRO-SUL

BRASILEIRO: influência nas dinâmicas ambientais e socioeconômicas. *Ensaio de Geografia*, v. 9, n. 19, p. 66-86, 20 dez. 2022.

RAMOS, M. C. O desenvolvimento econômico na Amazônia Legal: seus impactos sociais, ambientais e climáticos e as perspectivas para a região. *Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito - PPGDir./UFRGS*, v. 9, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.22456/2317-8558.45010>

ROCHA, V. M.; CORREIA, F. W. S.; FONSECA, P. A. M. Reciclagem de precipitação na Amazônia: Um estudo de revisão. *Revista brasileira de meteorologia*, v. 30, p. 59-70, 2015.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, p. 64-73, 2016.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968. doi:10.1080/01621459.1968.10480934

DE CARVALHO, K. J.; et al. Amazônia legal: uma análise da convergência do crescimento e do desenvolvimento econômico. *Geosul*, v. 38, n. 88, p. 398-422, 2023. <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2023.e92755>.

SOUZA, V. A. S.; et al. Dinâmica do desmatamento na Amazônia e seus impactos na hidrologia: bacia do Rio Machadinho-Rondônia/Brasil. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 29, n.3, p. 1004-1018, 2019.

TERASSI, P. M. De B.; et al. Exploring climate extremes in Brazil's Legal Amazon. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, p. 1-20, 2023.

THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. *Indagationes mathematicae*, v. 12, n. 85, p. 173, 1950.

TRANCOSO, R. Changing Amazon deforestation patterns: Urgent need to restore command and control policies and market interventions. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 4, p. 041004, 2021. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/abee4c>.

XU, X.; et al. Desmatamento desencadeando transição irreversível no ciclo hidrológico da Amazônia. *Cartas de Pesquisa Ambiental*, v. 17, n. 3, pág. 034037, 2022.

YAUNG, K. L.; et al. Land Use Land Cover Changes and Their Effects on Surface Air Temperature in Myanmar and Thailand. *Sustainability*, 13(19), 10942, 2021.