

Dinâmica das variáveis meteorológicas e suas implicações para tipologias florestais na Amazônia Ocidental

José Luiz Monteiro Benício de Melo^{1*}, Dan Gustavo Feitosa Braga¹, Jesus Padilha¹,
Matheus Nathaniel Soares da Costa², Alana Karen Mariano da Silva², Rafael Coll
Delgado³

¹Discente da Universidade Federal do Acre, Curso Bacharelado em Engenharia Florestal, Rio Branco, Acre, Brasil. ²Discente do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil. ³Professor do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil. *jose.monteiro@sou.ufac.br

Recebido em: 01/09/2025 Aceito em: 12/02/2026 Publicado em: 20/04/2026

DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.8.1-1>

RESUMO

A Amazônia possui grande biodiversidade e papel no clima global. Com dados mensais de temperatura média do ar (t_{med} ; °C), água no solo (AS; mm) e Enhanced Vegetation Index (EVI), foi feita uma análise de tendência pelo teste de Mann-Kendall para a Floresta Estadual do Antimary (FEA) por diferentes tipologias florestais: Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Bambu (AB), Floresta Ombrófila Densa com Dossel emergente (DB) e Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Palmeiras (AA), além de uma análise de correlação com dados dos para toda área da FEA, levando em conta a variável pressão atmosférica da superfície (P_{atm}). Na AB, a AS apresentou diminuição nos meses da estação seca, destacando-se setembro (Zmk -13,69). A AA e AB tiveram similaridade, a t_{med} na AB aumentou na maioria dos meses, com abril tendo Zmk de 13,16. A AA teve aumento da t_{med} em março (Zmk 2,58) enquanto a DB apresentou em março Zmk 2,41. O EVI apresentou tendência em agosto para AB e outubro para DB. O P_{atm} apresentou maior intensidade durante o El Niño nos meses da estação seca (992,28-990,84 hPa), sendo a única variável climática que apresentou correlação positiva com EVI (0.04).

Palavras-chave: Conservação da natureza. Linguagem R. Vegetação. Mudanças Climáticas. Matriz de Correlação.

Dynamics of meteorological variables and their implications for forest typologies in the western Amazon

ABSTRACT

The Amazon region possesses great biodiversity and plays a role in the global climate. Using monthly data on average air temperature (t_{med} ; °C), soil water (AS; mm), and Enhanced Vegetation Index (EVI), a trend analysis was performed using the Mann-Kendall test for the Antimary State Forest (FEA) across different forest typologies: Lowland Open Ombrophilous Forest with Bamboo (AB), Dense Ombrophilous Forest with emergent canopy (DB), and Alluvial Open Ombrophilous Forest with Palms (AA), in addition to a correlation analysis with data for the entire FEA area, taking into account the surface atmospheric pressure variable (P_{atm}). In AB, AS showed a decrease during the dry season months, particularly in September (Zmk -13.69). AA and AB showed similarities; t_{med} in AB increased in most months, with April having a Zmk of 13.16. AA showed an increase in average temperature in March (Zmk 2.58) while DB presented Zmk 2.41 in March. EVI showed a trend in August towards AB and in October towards DB. P_{atm} showed greater intensity during El Niño in the dry season months (992.28-990.84 hPa), being the only climatic variable that showed a positive correlation with EVI (0.04).

Keywords: Nature conservation. R language. Vegetation. Climate change. Correlation matrix.

INTRODUÇÃO

A floresta amazônica é reconhecida por ser a maior floresta tropical do mundo, possuindo a maior biodiversidade de espécies do planeta, abrangendo diversas tipologias florestais, que desempenham diversos papéis ecossistêmicos na preservação da regulação climática e conservação da dinâmica ecológica (LONDRES et al., 2023). Essa por sua vez tem um recente cenário preocupante, onde o uso do fogo vem crescendo de maneira desenfreada associados com o crescimento de culturas agrícolas como a soja e cana-de-açúcar, assim tendo ocorrência de fogo até mesmo em períodos desfavoráveis como a estação chuvosa, eventos de El Niño-Ocilação Sul (ENOS) como La niña, demonstrando a complexidade da ocorrência de fogo na região Amazônia que engloba diversas variáveis meteorológicas e a ação antrópica (BARBOSA et al., 2021).

Nesse contexto entender como variáveis meteorológicas como pressão atmosférica se comportam em anos extremos é essencial, Andrade et al. (2020), ao estudar a ocorrência de focos de calor durante anos de ENOS constatou que a pressão atmosférica, velocidade do vento e temperatura do ar tem forte influência na ocorrência de incêndios florestais na região sul do Brasil. Além disso, o estudo de Melo et al. (2025), demonstrou que a tendência de variáveis meteorológicas com temperatura do ar e chuva, podem variar a depender de diferentes regiões geográfica e níveis de altitude, desse modo é importante entender como diferentes variáveis meteorológicas, podem se comportar e afetar diferentes tipologias florestais.

Nesse aspecto, o uso do Enhanced Vegetation Index (EVI), obtido através do sensoriamento remoto, permite a análise e a identificação de perturbações no ambiente, possibilitando a análise das respostas da vegetação em relação às variações climáticas, a integração desses dados, permite identificar a resposta da vegetação a essas modificações ao longo do tempo, ajudando a compreender como as diferentes tipologias florestais se comportam e reagem às mudanças no clima ao longo dos anos (SEMERARO et al., 2020).

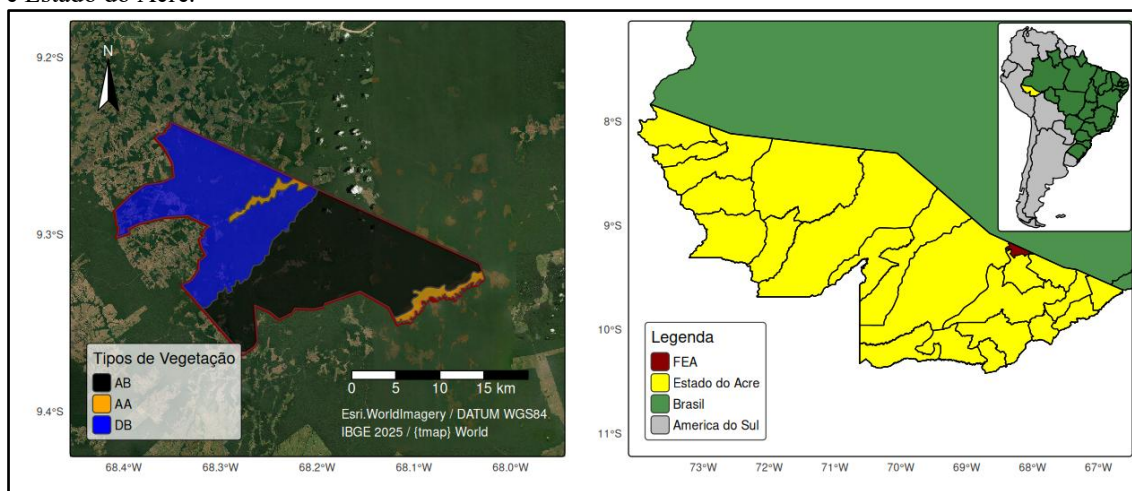
Considerando a relevância das análises das interações entre o Enhanced Vegetation Index (EVI) e variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, umidade do solo e pressão atmosférica, o presente estudo teve como objetivo avaliar as alterações na dinâmica das florestas associadas às variações climáticas em diferentes tipologias florestais da Floresta Estadual do Antimary (FEA), visando identificar quais tipologias são mais vulneráveis às mudanças das variáveis meteorológicas e quais dessas exercem maior influência sobre a vegetação da FEA.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Floresta Estadual do Antimary (FEA). Essa apresenta 45 mil hectares de área (Figura 1), e elevação variando de 90 a 300 m de altitude, estando localizada entre os municípios de Sena Madureira e Bujari, pertencentes ao estado do Acre (ACRE, 2012). O clima da região é de monção tropical-Am, segundo a classificação de Köppen, com temperaturas do ar entre 24°C e 26°C (ALVARES et al., 2013). Sua vegetação predominante é a Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Bambu (AB), seguida por Floresta Ombrófila Densa com Dossel emergente (DB) e Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Palmeiras (AA) (IBGE, 2025).

Figura 1 - Mapa de localização da Floresta Estadual do Antimary (FEA), contendo América do Sul, Brasil e Estado do Acre.



Obtenção dos dados de Clima e Sensoriamento Remoto

Os dados de Água no Solo (AS; mm) e temperatura máxima e mínima do ar (t_{\max} e t_{\min} ; °C) foram obtidas do conjunto de dados TERRA CLIMATE desenvolvidos por Abatzoglou et al. (2018), estando em formato NetCDF “.nc”. Este conjunto foi escolhido por sua extensa faixa temporal de 1958-2024 em escala mensal e sua resolução espacial de 4 km x 4 km. A t_{\max} e t_{\min} do ar foram usadas para calcular a temperatura média (t_{med} ; °C).

A variável pressão atmosférica da superfície (P_{atm} ; hPa) foi obtida do conjunto de dados ERA-5 através da plataforma Copérnicos Climate Data, em formato NetCDF “.nc” na escala mensal tendo resolução espacial de 9 x 9 km, sendo esses dados obtidos para o período 2001-2024, na área da FEA, para que esses dados pudessem ser correlacionados

com as demais variáveis, posteriormente, foram separados dentre esses anos, aqueles que ocorreram eventos de El Niño-Oscilação sul (ENOS), os eventos escolhidos podem ser vistos na Tabela 1. Para execução desses processo, foi usado o software R versão:4.5.0. e seu pacote “metR”, para extração do no local de estudo.

Tabela 1 - Descrição dos eventos de ENOS caracterizando período e intensidade.

Eventos	Classificação	Anos
El Niño	Forte	2023-2024
Neutralidade	--	2005-2006
La Niña	Moderado	2012-2013

Os dados de EVI, foram obtidos através do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) por meio do produto MOD13Q1, na faixa temporal mensal de 2001 até 2024, para tanto foi utilizado a biblioteca “modisfast” contida no software R versão:4.5.0. Posteriormente, para as variáveis t_{med} , AS e EVI, foi executado um recorte para as diferentes tipologias florestais na área de estudo, e esses foram extraídos e salvos em formato de planilha “.csv”. Todos esses procedimentos foram executados no software R versão:4.5.0 usando os pacotes “raster”, “dplyr”, “sf”, e os scripts práticos desenvolvidos pelos autores.

Estatística não-paramétrica

Para compreender a tendência positiva ou negativa da vegetação das diferentes tipologias florestais na FEA, foi realizado o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Z_{mk}) desenvolvido por Mann (1945) (Equação 1-3), considerando os níveis de significância de 5% e 10%. Para tanto foi utilizado o pacote “Kendall” do software R versão:4.5.0. Posteriormente, foram gerados gráficos das tendências significativas, sendo usado o pacote “ggplot2” do software R.

$$Z_{mk} = \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}; seS > 0$$

$$Z_{mk} = 0; seS = 0$$

$$Z_{mk} = \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}; seS < 0$$
(1)

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i)$$
(2)

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$
(3)

Em que:

Z_{mk} : Teste de índice Z de Mann-Kendall;

S: Valor do S estatístico;

n: número de Observações;

sng: função sinal;

Var (S): variância do S estatístico;

t_i : Número de vezes que um valor se repete na série.

Com os dados das variáveis climática (t_{med} , AS, P_{atm}) e o EVI foi gerado uma matriz de correlação pelo método de Pearson descrito por Pearson (1896) podendo ser visualizado na Equação 4. A matriz foi gerada no software R versão 4.5.0 e com uso da biblioteca corrrplot, para gerar a figura de matriz, os dados das variáveis meteorológicas foram separados no intervalo de 2001 a 2024 para a respectiva análise, devido os dados de EVI só estarem disponíveis para esse período.

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

Em que:

r: Coeficiente de Correlação de Pearson;

x_i : Valores da variável x;

\bar{x} : Média dos valores da variável x;

y_i : Valores da variável y;

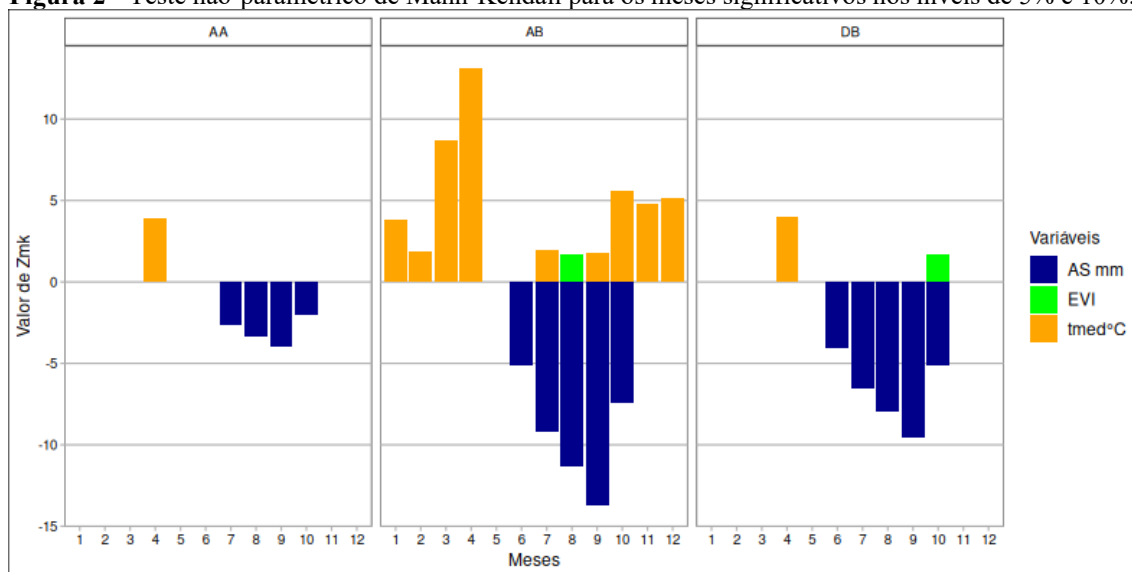
\bar{y} : Média dos valores da variável y.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendência das variáveis por vegetação

Ao observar as tendências das variáveis para AB, é possível perceber que a AS tem mostrado uma diminuição ao longo de todos os meses, com resultados significativos de Z_{mk} somente nos meses de junho (-5,12), julho (-9,16), agosto (-11,29), setembro (-13,69) e outubro (-7,44) (Figura 2), sendo esses meses secos, exceto pelo mês de outubro, que é considerado mês de transição para a estação chuvosa. Já a AA assemelhou-se com AB, apresentando tendência significativa a decréscimo nos mesmos meses, com exceção do mês de junho, cujo qual não foi significativo.

Figura 2 - Teste não-paramétrico de Mann-Kendall para os meses significativos nos níveis de 5% e 10%.



Os resultados da AS na floresta DB apresentaram similaridade com AB, tendo os meses secos e o mês de outubro tendências negativas significativas (-4,02 a -9,54). Entretanto AB apresenta as tendências mais fortes a decaimento quando comparado às demais formações. Essa redução pronunciada da AS durante a estação seca pode se dar por redução de cobertura vegetal na região e aumento da estação que influencia no aumento da saída de água por evapotranspiração (SILVA-JÚNIOR et al., 2021).

A t_{med} para a formação AB apresentou tendência de aumento em quase todos os meses, exceto em agosto, que indicou tendência negativa. Todavia, os meses de maio, junho e agosto não são significativos. O mês com maior tendência de aumento foi abril, tendo valor de Zmk de 13,16. Já os resultados de AA destoam dos observados na AB, com apenas o mês de março apresentando valores significativos de aumento da t_{med} (2,58). Na formação DB a t_{med} assemelha-se a da floresta AA, com tendência significativa a aumento da t_{med} somente durante o mês de março (2,41), os demais meses apresentaram tendências não significativas.

O vigor da vegetação na formação AB, apresentou tendência a aumento significativo para o mês de agosto, com valor de Zmk de 1,69. Isso pode ter ocorrido por uma maior disponibilidade de luz solar durante esse período, estimulando o processo fotossintético. Para o EVI da floresta DB, apenas o mês de outubro apresentou tendência de aumento significativo (1,7), podendo ocorrer por maior disponibilidade de água devido ao início das chuvas neste mês. Já a floresta AA não apresentou tendências significativas. Esses resultados podem decorrer pelo efeito negativo da temperatura sobre o EVI (GU et al., 2022). Onde o mês de outubro é caracterizado por transição chuvosa, e agosto apesar

de não significativo apresentou tendência a decaimento da t_{med} na formação AB. Esses resultados podem indicar uma extensão da estação seca principalmente na floresta AB, se assemelhando aos resultados descritos por Melo et al. (2025), que ao analisar a tendência das variáveis meteorológicas chuva e temperatura do ar, em diferentes pontos geográficos na bacia do Rio Acre, encontrou tendências a aumento da estação seca, principalmente em pontos de menor altitude.

Anos extremos de seca e chuva

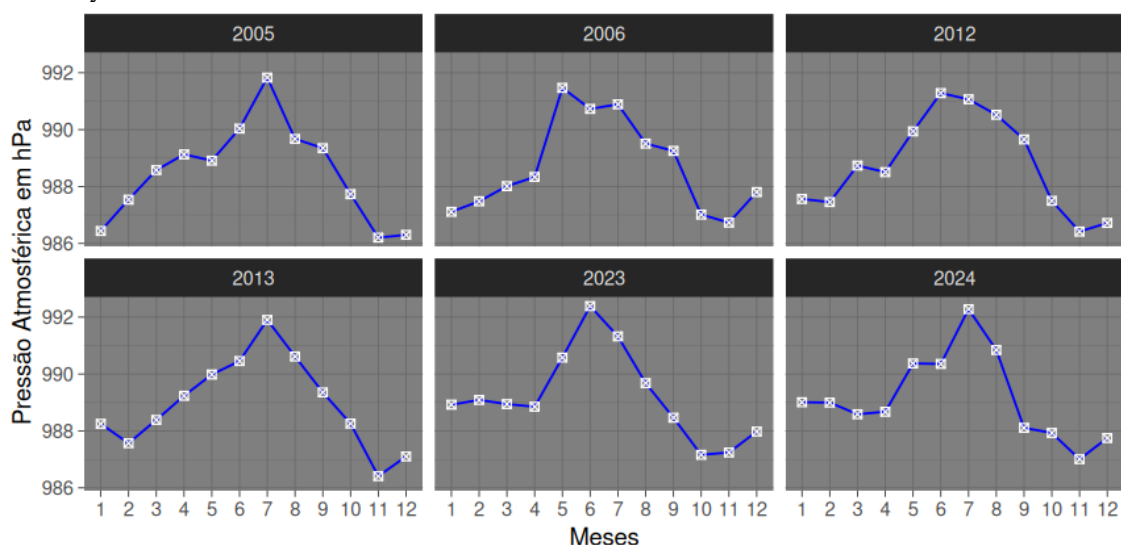
Ao analisar os anos extremos, nota-se que a t_{med} e a AS de 2023 e 2024 tiveram comportamento inverso entre si, com a AS reduzindo (189,99 mm) e a t_{med} aumentando (0,13°C), isso foi refletido diretamente no vigor da vegetação das formações AB e AA com ambas tendo redução do EVI (0,04 e 0,02) durante estes anos, isso pode ter decorrido do evento de ENOS (El Niño-Oscilação Sul) El Niño que ocorreu nestes dois anos, alterando os padrões de temperatura, podendo prejudicar os processos fisiológicos da vegetação, como redução da fotossíntese e aumento do processo de respiração das plantas, o que leva a diminuição do armazenamento de carbono (MALHI et al., 2018; GGWEATHER, 2025).

Entretanto a floresta DB, apresentou estabilidade de seus valores de EVI durante os mesmos anos, o que pode indicar uma maior resiliência a eventos extremos de seca. Todavia o ano de 2006 foi marcado por alto teor de AS (3.241,58 mm) e baixo EVI (0,49) para todas as formações. Este resultado pode ser proveniente do evento de La Niña que ocorreu durante este ano (GGWEATHER, 2025). Já que esse fenômeno aumenta os regimes pluviométricos, ocasionando maior nebulosidade e uma menor entrada de radiação solar, o que proporciona redução do processo fotossintético (RESTREPO-COUBE et al., 2024).

Avaliação da Pressão Atmosférica em Anos de ENOS

Os dados mensais de P_{atm} (Figura 3), destacando os seis anos de eventos de Neutralidade (2005-2006), La niña (2012-2013) e El niño (2023-2024), pode-se observar que a P se manteve dentro dos padrões sazonais esperados. Os meses de Junho e Julho com valores médios de (990,87 hPa e 991,54 hPa) e os menores valores médios entre os meses de novembro, dezembro e janeiro (986,67, 987,28 e 987,89 hPa).

Figura 3 - Variação temporal mensal da Pressão atmosférica da superfície na Floresta Estadual do Antimary.



Os anos caracterizados por La Niña (2005–2006) apresentaram os menores valores de P_{atm} , variando de 986,43 hPa a 991,82 hPa, com o valor máximo registrado em julho de 2006 (991,82 hPa) e o mínimo em novembro do mesmo ano (986,20 hPa). O período de neutralidade (2012–2013) exibiu valores ligeiramente superiores aos de La Niña, com a P_{atm} atingindo o máximo em junho de 2013 (990,45 hPa) e o mínimo em novembro de 2012 (986,41 hPa).

Durante o evento El Niño (2023–2024), observaram-se valores de pressão mais elevados em comparação com os demais períodos. Os máximos ocorreram em junho (992,38 hPa) e julho (991,32 hPa) de 2023, e em julho (992,28 hPa) e agosto (990,84 hPa) de 2024. Os menores valores foram registrados nos meses de novembro e dezembro de 2024.

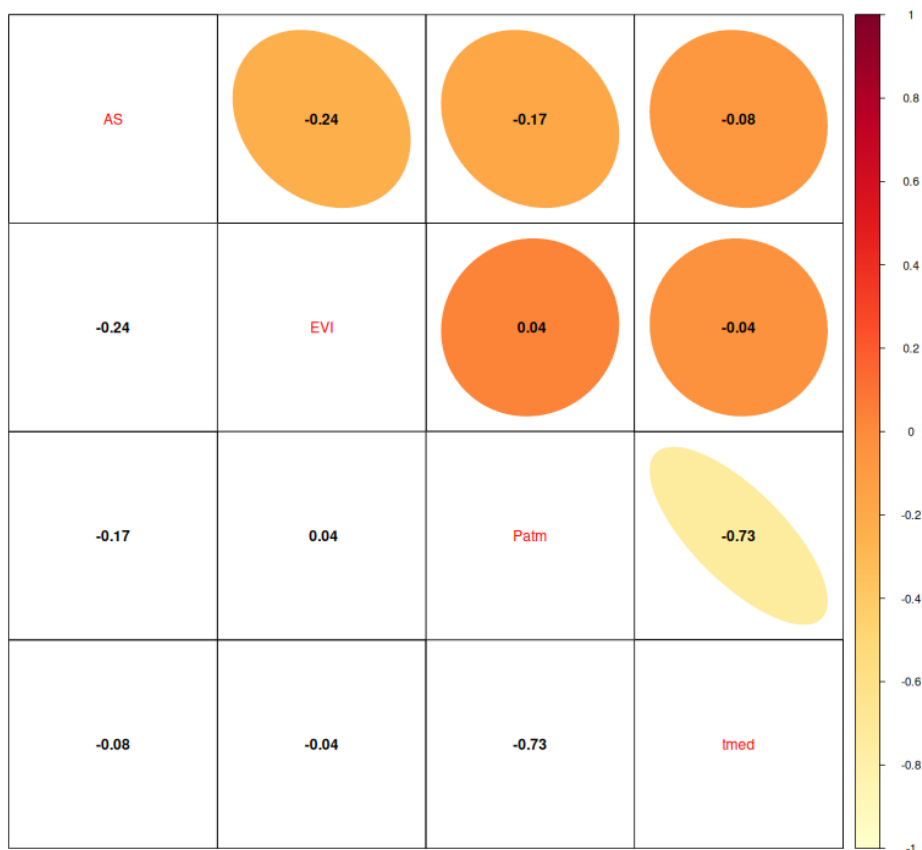
Esses resultados evidenciam uma tendência de maiores valores de pressão atmosférica entre junho e agosto, especialmente durante o evento El Niño. Tal padrão se assemelha à dinâmica dos focos de calor no estado do Acre, que se intensificam nos meses correspondentes à estação seca (CRUZ et al., 2025). Resultados semelhantes foram relatados por Andrade et al. (2020) para a região Sul do Brasil, onde foi observada correlação positiva entre vento, pressão atmosférica e ocorrência de focos de calor.

Matriz de Correlação pelo método de Spearman

Os resultados da matriz de correlação demonstram que o EVI tem correlação negativa com a t_{med} e com a AS, tendo valores de -0,04 a -0,24 respectivamente, além de

ter correlação positiva com a P_{atm} (0,04). Além disso, a P_{atm} apresenta correlações negativas com a t_{med} e a AS tendo valores de -0,73 e -0,08 respectivamente, essa diferença de valores entre os coeficientes evidencia que a temperatura tem maior relação com a P_{atm} quando comparado com a AS. A relação entre a AS e a t_{med} apresenta coeficiente de correlação negativo (-0,08), demonstrando a relação inversa dos dois (Figura 4).

Figura 4 - Matriz de correlação pelo método de Pearson das variáveis meteorológicas e EVI no período de 2001-2024.



A relação positiva do EVI com a P_{atm} decorre de que durante o período seco o ocorre maior disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa, provendo maior atividade fotossinteticamente ativa e por consequência maior produtividade primária bruta, entretanto, se submetida a um período prolongado de seca severa a vegetação pode não ter água disponível e ter prejuízo significativos (BRANDO et al., 2010). Esse comportamento sazonal do EVI, converge com a análise da sazonalidade da pressão atmosférica durante anos extremos vista no presente estudo (Figura 3), em que os maiores valores de P_{atm} ocorrem no período seco.

Isso também explica a correlação da temperatura do ar e o EVI, já que esse período é caracterizado como inverno do hemisfério e parte do outono do Hemisfério Sul, onde

decorre, baixos valores de t_{med} e, alta queda da umidade relativa (BARBOSA et al., 2021; XU et al., 2025). Já a relação negativa de AS e EVI elevados teores de água no solo estão relacionados a eventos de cheias e conseqüentemente extremos de chuva, que vem crescendo na região amazônica devido ao aumento da atividade de convectiva que gera a formação de nuvens, ambos os eventos tendo impacto direto sobre a vegetação, causando redução do processo fotossintético e perda de diversidade (BRANDO et al., 2010; ZHANG et al., 2022; MARENGO et al., 2024; LOPES et al., 2025).

CONCLUSÃO

O estudo indica que a FEA tende a se tornar mais árida durante os meses secos, sendo a floresta AB a mais suscetível, caracterizada por um aumento na temperatura média (t_{med}). O índice de vegetação EVI apresentou tendência de crescimento em apenas um mês para cada tipologia: agosto nas florestas AB e outubro nas florestas DB. Eventos climáticos extremos, como o El Niño (2023 e 2024), impactaram negativamente o vigor da vegetação nas florestas AA e AB, enquanto a floresta DB não apresentou efeitos significativos. Em contrapartida, durante o evento La Niña (2006), todas as tipologias florestais exibiram redução nos valores de EVI, evidenciando a sensibilidade da vegetação às variações climáticas extremas. A pressão atmosférica (P_{atm}) apresentou maiores valores durante a estação seca, principalmente durante o evento de El Niño em que se notou uma intensificação da pressão atmosférica.

A análise de correlação reforça isso demonstrando que o EVI tem uma relação positiva do EVI com a P_{atm} devido ser no período seco em que ocorrem maiores valores de EVI, além de apresentar correlação negativa fracas com a t_{med} e AS. Esses resultados fornecem importantes informações para a gestão e manejo de unidades de conservação, permitindo uma melhor compreensão dos impactos de mega incêndios florestais associados a eventos climáticos extremos nessas regiões.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a organização da XVII semana florestal do curso de Engenharia florestal da Universidade Federal do Acre (UFAC) que convidou os autores para essa publicação, ao Centro Integrado de Meteorologia Agrícola e Florestal (CIMAF), que possibilitou a execução da pesquisa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica

processo 177552/2025-5 e a bolsa de Produtividade em Pesquisa - PQ processo (306275/2024-4).

REFERÊNCIAS

- ABATZOGLOU, J. T.; DOBROWSKI, S. Z.; PARKS, S. A.; HEGEWISCH, K. C. 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.
- ACRE. Governo do Estado do Acre. **Plano de Manejo da Floresta Estadual do Antimary**. Rio Branco: Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA), 2012. 215 p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BARBOSA, M. L. F.; DELGADO, R. C.; DE ANDRADE, C. F.; TEODORO, P. E.; JUNIOR, C. A. S.; WANDERLEY, H. S.; CAPRISTO-SILVA, G. F. Recent trends in the fire dynamics in Brazilian Legal Amazon: Interaction between the ENSO phenomenon, climate and land use. **Environmental Development**, v. 39, p. 100648, 2021.
- BRANDO, P. M.; GOETZ, S. J.; BACCINI, A.; NEPSTAD, D. C.; BECK, P. S. A.; CHRISTMAN, M. C. Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 33, p. 14685–14690, 2010.
- DA CRUZ, C. G. S.; DELGADO, R. C.; PEREIRA, M. G.; WANDERLEY, H. S. Changes in gross primary productivity: A past and future approach to climate, land use and wildfires in the western Amazon, Brazil. **Environmental Development**, v. 54, p. 101150, 2025.
- DE ANDRADE, C. F.; DELGADO, R. C.; BARBOSA, M. L. F.; TEODORO, P. E.; DA SILVA JUNIOR, C. A.; WANDERLEY, H. S.; CAPRISTO-SILVA, G. F. Fire regime in Southern Brazil driven by atmospheric variation and vegetation cover. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 295, p. 108194, 2020.
- GGWEATHER. **ONI - Oceanic Niño Index**. Disponível em: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em: 21 jul. 2025.
- GUO, W.; HUANG, S.; HUANG, Q.; LENG, G.; MU, Z.; HAN, Z.; WEI, X.; SHE, D.; WANG, H.; WANG, Z.; PENG, J. Drought trigger thresholds for different levels of vegetation loss in China and their dynamics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 331, p. 109349, 2023.
- GU, Z.; ZHANG, Z.; YANG, J.; WANG, L. Quantifying the influences of driving factors on vegetation EVI changes using structural equation model: a case study in Anhui province, China. **Remote Sensing**, v. 14, n. 17, p. 4203, 2022.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados de Informações Ambientais – BDiA** [online]. Rio de Janeiro: IBGE, n.d. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>
- LONDRES, M.; SCHMINK, M.; BÖRNER, J.; DUCHELLE, A. E.; FREY, G. P. Multidimensional forests: Complexity of forest-based values and livelihoods across Amazonian socio-cultural and geopolitical contexts. **World Development**, v. 165, p. 106200, 2023.
- LOPES, T. G.; DE FREITAS, H. C.; DOMINGUES, L. M.; MOREIRA, D. S. A Novel Flood Probability Index Based on Radar Rainfall and Soil Moisture Estimates for a Small Vegetated Watershed in Southeast Brazil. **Atmosphere**, v. 16, n. 6, p. 633, 2025.
- MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 245-259, 1945.

MALHI, Y.; ROWLAND, L.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FISHER, R. A. New insights into the variability of the tropical land carbon cycle from the El Niño of 2015/2016. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20170298, 2018.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C.; FU, R.; JIMENEZ, J. C. M.; ALVES, L. M.; DA ROCHA, H. R.; SCHÖNGART, J. Long-term variability, extremes and changes in temperature and hydrometeorology in the Amazon region: A review. **Acta Amazonica**, v. 54, p. e54es22098, 2024.

MELO, K. D. S.; DELGADO, R. C.; MENDONÇA, A. P. T. Precipitation Trends and Andean Snow Cover: Climate Interactions and Hydrological Impacts in the Acre River Basin (1982–2023). **Atmosphere**, v. 16, n. 3, p. 249, 2025.

PEARSON, K. VII. Mathematical contributions to the theory of evolution.—III. Regression, heredity, and panmixia. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, containing papers of a mathematical or physical character**, n. 187, p. 253-318, 1896.

RESTREPO-COUBE, N.; CAMPOS, K. S.; ALVES, L. F.; LONGO, M.; WIEDEMANN, K. T.; DE OLIVEIRA JR, R. C.; ARAGÃO, L. E. O. C.; CHRISTOFFERSEN, B. C.; CAMARGO, P. B.; FIGUEIRA, A. M. E.S.; FERREIRA, M. L.; OLIVEIRA, R. S.; PENHA, D.; PROHASKA, N.; DA ARAUJO, A. C.; DAUBE, B. C.; WOFSY, S. C.; SALESKA, S. R. Contrasting carbon cycle responses to dry (2015 El Niño) and wet (2008 La Niña) extreme events at an Amazon tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 353, p. 110037, 2024.

SEMERARO, T.; LUVISI, A.; LILLO, A. O.; ARETANO, R.; BUCCOLIERI, R.; MARWAN, N. Recurrence analysis of vegetation indices for highlighting the ecosystem response to drought events: An application to the Amazon forest. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 907, 2020.

SILVA-JÚNIOR, R. O. D.; SOUZA-FILHO, P. W. M. E.; SALOMÃO, G. N.; TAVARES, A. L.; SANTOS, J. F. D.; SANTOS, D. C.; DIAS, L. C.; SILVA, M. S. D.; MELO, A. M. Q. D.; COSTA, C. E. A. D. S.; ROCHA, E. J. P. D. Response of water balance components to changes in soil use and vegetation cover over three decades in the Eastern Amazon. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 749507, 2021.

SOUZA, R. D. A. D.; MOURA, V.; PALOSCHI, R. A.; AGUIAR, R. G.; WEBLER, A. D.; BORMA, L. D. S. Assessing drought response in the Southwestern Amazon forest by remote sensing and in situ measurements. **Remote Sensing**, v. 14, n. 7, p. 1733, 2022.

XU, J.; YAO, M.; CHEN, Y.; JIANG, L.; XING, B.; CLARKE, H. The Range of Projected Change in Vapour Pressure Deficit Through 2100: A Seasonal and Regional Analysis of the CMIP6 Ensemble. **Climate**, v. 13, n. 7, p. 143, 2025.

ZURLINI, G.; ZACCARELLI, N.; PETROSILLO, I. Scaling retrospective resilience of real grassland habitats in a watershed. **Ecol. Indicat**, v. 6, p. 184-204, 2006.98.

ZHANG, Y.; LI, Z.; GE, W.; WANG, J.; GUO, X.; WANG, T.; LI, W. Assessment of the impact of floods on terrestrial plant biodiversity. **Journal of Cleaner Production**, v. 339, p. 130722, 10 mar. 2022.