



## VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA

## VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

### **Mudanças climáticas e variabilidade da Alta da Bolívia: Análise das tendências em altura geopotencial e ventos usando ERA5**

*Climate Change and Variability of the Bolivian High: Analysis of Trends in Geopotential Height and Winds Using ERA5*

DE MELO, José Luiz Monteiro Benício<sup>1</sup>; BRAGA, Dan Gustavo Feitosa<sup>2</sup>; PADILHA, Jesus<sup>3</sup>; ORTEGA, Givanildo Pereira<sup>4</sup>; DELGADO, Rafael Coll<sup>5</sup>.<sup>1</sup> Universidade Federal do Acre (UFAC), jose.monteiro@sou.ufac.br ; <sup>2</sup> Universidade Federal do Acre (UFAC), dan.braga@sou.ufac.br; <sup>3</sup> Universidade Federal do Acre (UFAC), jesus.padilha@sou.ufac.br; <sup>4</sup> Universidade Federal do Acre (UFAC), givanildo.ortega@ufac.br; <sup>5</sup> Universidade Federal do Acre (UFAC), rafael.delgado@ufac.br

## RESUMO EXPANDIDO

### **Eixo Temático: Meio ambiente e Conservação da natureza**

#### **Resumo**

As mudanças climáticas impactam diretamente os ecossistemas florestais, alterando o regime pluviométrico e intensificando a ocorrência de eventos extremos, o que torna essencial compreender as tendências dos sistemas meteorológicos. Neste estudo, buscou-se analisar as tendências das variáveis meteorológicas Altura Geopotencial AG, velocidade do vento zonal (u) e meridional (v), associadas ao sistema meteorológico Alta da Bolívia AB. Para isso, foram utilizados dados do ERA5 e o software R versão 4.5.1, aplicando a análise não paramétrica sen.slope com níveis de significância entre 0,05 e 0,1. Os resultados para AG foram positivos e estatisticamente significativos, variando de 0,67 a 1,09, possivelmente relacionados ao aumento da temperatura da superfície durante o período de atuação da AB, indicando sua intensificação e sugerindo maior ocorrência de eventos extremos de chuva. Em contraste, as variáveis u e v apresentaram na maior parte tendências não significativas.

**Palavras-chave:** Amazônia; Alta Atmosfera; Sensoriamento Remoto.

#### **Introdução**

As mudanças climáticas são um problema global que vem impactando a resiliência dos ecossistemas florestais (FORZIERI et al., 2022; SANTANA et al., 2024). Dentre essas áreas a Amazônia destaca-se pelo processo de perda de biodiversidade ao qual vem sendo submetida, pela alteração do regime de chuvas da região, aumentando o período seco, o que facilita ocorrência de incêndios florestais, essas alterações prejudicam a resiliência florestal da Amazônia e facilitando a ocorrências de espécies adaptadas a períodos secos extensos (BRANDÃO, BARATA e NOBRE, 2022; DRÜKE et al., 2023).

Além disso, os eventos extremos de precipitação vêm se intensificando na região, podendo estar associados à presença de mega barragens, que podem desencadear enchentes extremas capazes de provocar perda de biodiversidade e aumento da mortalidade arbórea, não só na área de abrangência da área dessa barragens



## VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA

### VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

(OLIVEIRA et al., 2021; CERÓN et al., 2024).

Desse modo, compreender como os sistemas meteorológicos vêm se alterando e quais são suas tendências é essencial para entender a dinâmica das chuvas na região. Entre os sistemas que atuam na área, a Alta da Bolívia AB se destaca como um dos principais, caracterizada como um anticiclone responsável pela organização e intensificação das chuvas em grande parte da Amazônia, conforme descrito por Lenters e Cook (1997).

Nesse quesito a variável altura geopotencial é essencial, sendo usada na meteorologia para compreensão de sistemas de ciclones e anticiclones (CHAN, HASSANZADEH e KUANG, 2019; AMEMIYA, 2020) e, apresentando nos últimos anos aumento relacionada ao aquecimento global assim demonstrando intensificação dos sistemas meteorológicos, principalmente de anticiclones (HE et al., 2024).

Com isso, o objetivo do presente estudo é compreender as tendências das variáveis meteorológicas na alta troposfera, associando-as ao sistema meteorológico Alta da Bolívia e avaliando seus possíveis impactos na Amazônia.

### Metodologia

O local de estudo é a floresta amazônica brasileira, denominada de Amazônia legal, sendo composta pelos estados do Acre, Amazonas, Rondônia, Amapá, Pará, Mato Grosso e Tocantins, tendo assim área de 5.014.107,875 km<sup>2</sup> (IBGE, 2025). O clima da região divide-se predominantemente entre Monção tropical-Am e Tropical quente úmido-Af segundo a classificação de Köppen feita por Alvares et al. (2013).

Foram obtidos os dados de geopotencial a 200 hPa, velocidade de vento horizontal (u) e meridional (v) a 200 hPa, da plataforma Copernicus Climate Data do conjunto de dados de global de reanálise ERA5, pertencente ao European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), tendo resolução espacial de 0.25 x 0.25°, a faixa temporal utilizada foi de 1981-2024, com os dados de geopotencial foi calculada a Altura Geopotencial (AG) (Equação 1), esses procedimentos foram executados no software R versão 4.5.1 usando as bibliotecas “metR”, “dpyer” e “lubridate”. Com esses dados foi realizado a análise estatística não-paramétrica do sen.slop, o nível de significância usado foi o intervalo de 5-10%, para tanto foi utilizado o software R versão 4.5.1 e suas bibliotecas “trend”, “ggplot2” e “dplyer”.

em que:

$$AG = \frac{z}{g} \quad (1)$$

AG = Altura Geopotencial m;

z = Geopotencial m<sup>2</sup> s<sup>-2</sup>;

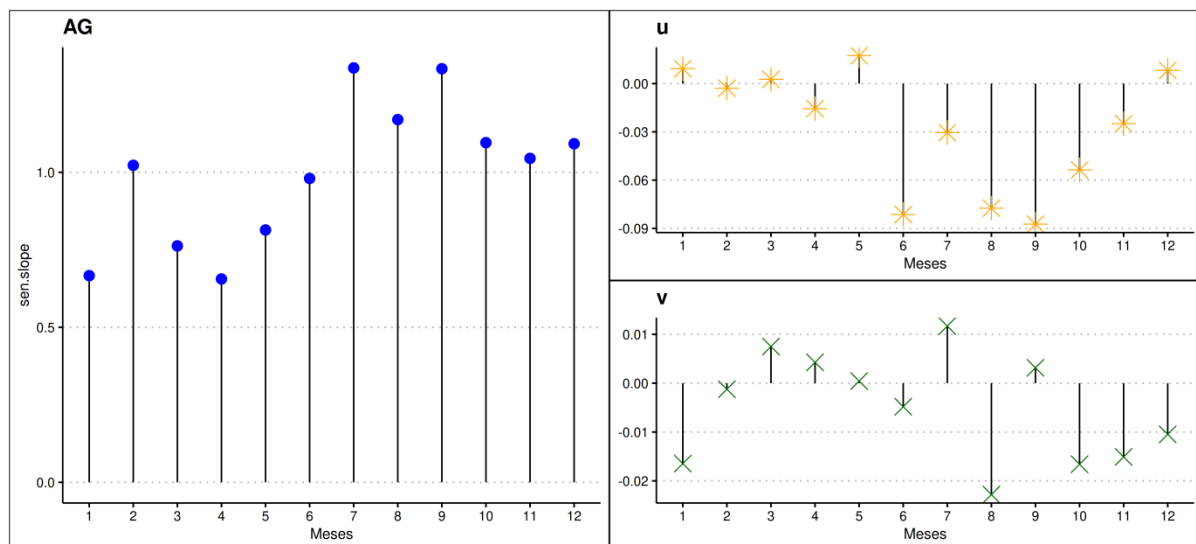
g = gravidade (9,80665 m s<sup>-2</sup>)

## Resultados e Discussão

A variável AG apresenta tendências positivas e significativas em todos os meses analisados (Figura 1). Nos meses correspondentes à estação chuvosa, janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro, os valores de sen.slope foram de 0,67, 1,02, 0,76, 0,65, 1,09, 1,04 e 1,09, respectivamente, todos significativos ao nível de 0,05, coincidindo com o período típico de atuação da Alta da Bolívia. Durante a estação seca, os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro também apresentaram tendências positivas, com valores de 0,81, 0,98, 1,33, 1,17 e 1,33, respectivamente, igualmente significativos, reforçando a evidência de aumento consistente da Altura Geopotencial ao longo de todo o ano.

Estas tendências positivas em todos os meses podem decorrer da relação positiva da temperatura da superfície com AG, pois pela redução da densidade do ar ocorre a expansão da coluna gerando aumento da AG (HE et al., 2024). Além disso, aumento da AG na estação chuvosa pode indicar uma intensificação da AB, podendo gerar eventos extremos de chuva que vem aumentando na região, esses eventos causam perda de diversidade em florestas tropicais associados a mortalidade de árvores, além de possivelmente contribuir para o aumento das tendências de alagações na Amazônia (OLIVEIRA et al., 2021; CERÓN et al., 2024).

Nesse sentido, os resultados achados por Melo, Delgado e Mendonça (2025), que ao analisar as tendências das chuvas na bacia do rio acre, relacionando com a ocorrência de neve andina, constatou que apesar do aumento da estação seca, a chuva está aumentando nos meses da estação chuvosa, principalmente fevereiro, corroboram com os resultados do presente estudo.



**Figura 1.** Tendências mensais das variáveis meteorológicas AG, velocidade do vento zonal u e velocidade do vento meridional v.

O vento zonal apresenta, em sua maioria, valores negativos de sen.slope nos meses de fevereiro, abril, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro, variando de  $-0,0028$  em fevereiro a  $-0,087$  em setembro. Entre esses, apenas junho ( $-0,002$ ),



## VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA

### VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

agosto (-0,077) e setembro (-0,087) apresentaram significância estatística. Nos demais meses, observaram-se tendências positivas, todas não significativas, sendo maio o mês com maior valor de  $\text{sen.slope}$  (0,02) e março aquele com a menor tendência positiva (0,002).

O vento meridional apresentou comportamento semelhante ao zonal, com predominância de tendências negativas nos meses de janeiro, fevereiro, junho, agosto, outubro, novembro e dezembro, que registraram valores de -0,016, -0,001, -0,004, -0,022, -0,016, -0,015 e -0,014, respectivamente.

As tendências positivas foram observadas em março (0,007), abril (0,004), maio (0,0004), julho (0,011) e setembro (0,003). Entre essas, apenas o mês de agosto apresentou significância estatística. Esses resultados são consistentes com os de Wan, Lin e Pielke (2022), que ao analisarem as tendências das velocidades do vento em altos níveis, especialmente em 200 hPa, identificaram ausência de tendências significativas na maior parte da América do Sul.

De maneira geral, a tendência de aumento da AG indica uma intensificação da AB, pois uma elevada AG é caracterizada por uma maior coluna de ar quente e seco, por expansão térmica, característicos de sistemas de alta pressão (anticiclones). Nesse sentido, as tendências de crescimento da AG na alta atmosfera durante os meses de ocorrência da AB indicam uma intensificação desse sistema, ou seja, um transporte de maior umidade para região amazônica, podendo levar a uma maior ocorrência de extremos de chuva, especialmente no mês de fevereiro (LENTERS e COOK, 1997; HE et al., 2024; MELO, DELGADO e MENDONÇA, 2025; LIU et al., 2025).

### Conclusões

O presente estudo conclui que a variável AG apresenta tendência de aumento na região amazônica ao longo de todos os meses analisados, possivelmente associada ao aquecimento da temperatura da superfície. O aumento da AG durante a estação chuvosa sugere um fortalecimento da Alta da Bolívia, cuja atuação é mais intensa nesse período, o que pode contribuir para a ocorrência de extremos de precipitação e, conseqüentemente, para o aumento das enchentes na Amazônia. Além disso, verificou-se que as variáveis  $u$  e  $v$  exibem, em sua maioria, tendências não significativas, indicando ausência de alterações expressivas na circulação de ventos em altos níveis da troposfera.

### Agradecimentos (opcional)

Agradecimento a Coordenação do curso de engenharia florestal do campus sede da Universidade Federal do Acre (UFAC), que pagou a taxa de publicação do resumo, 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 bibliográficas**

AMEMIYA, Arata; SATO, Kaoru. Characterizing quasi-biweekly variability of the Asian monsoon anticyclone using potential vorticity and large-scale geopotential height field. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 20, n. 22, p. 13857-13876, 2020.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BRANDÃO, Diego Oliveira; BARATA, Lauro Euclides Soares; NOBRE, Carlos Afonso. The effects of environmental changes on plant species and forest dependent communities in the Amazon region. **Forests**, v. 13, n. 3, p. 466, 2022.

CERÓN, Wilmar L. et al. New insights into trends of rainfall extremes in the Amazon basin through trend-empirical orthogonal function (1981–2021). **International Journal of Climatology**, v. 44, n. 11, p. 3955-3975, 2024.

CHAN, Pak-Wah; HASSANZADEH, Pedram; KUANG, Zhiming. Evaluating indices of blocking anticyclones in terms of their linear relations with surface hot extremes. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 9, p. 4904-4912, 2019.

DRÜKE, Markus et al. Fire may prevent future Amazon forest recovery after large-scale deforestation. **Communications Earth & Environment**, v. 4, n. 1, p. 248, 2023.

FORZIERI, Giovanni et al. Emerging signals of declining forest resilience under climate change. **Nature**, v. 608, n. 7923, p. 534-539, 2022.

HE, Chao et al. Rising geopotential height under global warming. **Climate Dynamics**, v. 62, n. 7, p. 5769-5786, 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Amazônia Legal. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 13 nov. 2025.

LENTERS, John D.; COOK, Kerry Harrison. On the origin of the Bolivian high and related circulation features of the South American climate. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 54, n. 5, p. 656-678, 1997.

LIU, Zhongfang et al. Anthropogenic intensification of Arctic anticyclonic circulation. **Science Advances**, v. 11, n. 9, p. eads4508, 2025.

MELO, Kennedy da Silva; DELGADO, Rafael Coll; MENDONÇA, Ana Pâmela Tavares. 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.

OLIVEIRA, Washington Luis et al. Mega-dams and extreme rainfall: Disentangling



## VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA

### VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

the drivers of extensive impacts of a large flooding event on Amazon Forests. **Plos one**, v. 16, n. 2, p. e0245991, 2021.

SANTANA, Mariana Martins Medeiros et al. Machine Learning Model Reveals Land Use and Climate's Role in Amazon Wildfires: Present and Future Scenarios. **Fire**, v. 7, n. 10, p. 338, 2024.

WAN, Nenghan; LIN, Xiaomao; PIELKE SR, Roger A. Assessment of trends in an integrated climate metric—analysis of 200 mbar zonal wind for the period 1958–2021. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 150, n. 3, p. 1217-1224, 2022.

---