



INSTITUTO DE ASTRONOMIA,  
GEOFÍSICA E CIÊNCIAS  
ATMOSFÉRICAS



Universidade de São Paulo

# **Análise estatística de uma série temporal de Altura Significativa de Ondas na Bacia de Santos**

MÉTODOS OBSERVACIONAIS EM METEOROLOGIA DE MESOESCALA

Aluno: Matheus Bonjour Laviola da Silva

Professor: Rosmeri Porfírio da Rocha

# Sumário

- **Introdução**
  - Área de estudo
  - Hipótese
- **Objetivos**
- **Metodologia**
- **Resultados**
- **Conclusão**

# Introdução

- **Sistemas meteorológicos e ondas na superfície do mar**
- **Regiões de ciclogênese do Sudoeste do Atlântico Sul. Gan & Rao (1991); Reboita (2010).**
- **Eventos de extremos de ondas influenciados pela pista dos ciclones e os ventos de sudeste associados a ciclones extratropicais. Campos (2012); Campos (2016); Gramcianinov (2021).**
- **Importância para atividades de engenharia costeira e portuária, navegação, transporte de óleo e turismo.**

# Introdução

- **Influência nas ondas de gravidade**

- Força restauradora
- Processos de geração de ondas
  - Turbulência do vento causando flutuações de pressão e consequentemente ondas capilares
  - Vento perturbando a superfície do mar, gerando ondas e aumentando suas amplitudes
  - Transferência de energia de ondas com frequências maiores para ondas com frequências menores (interações não lineares)

# Área de Estudo

- **Bacia de Santos**
- **Climatologia de ventos**
- **Climatologia de ondas**

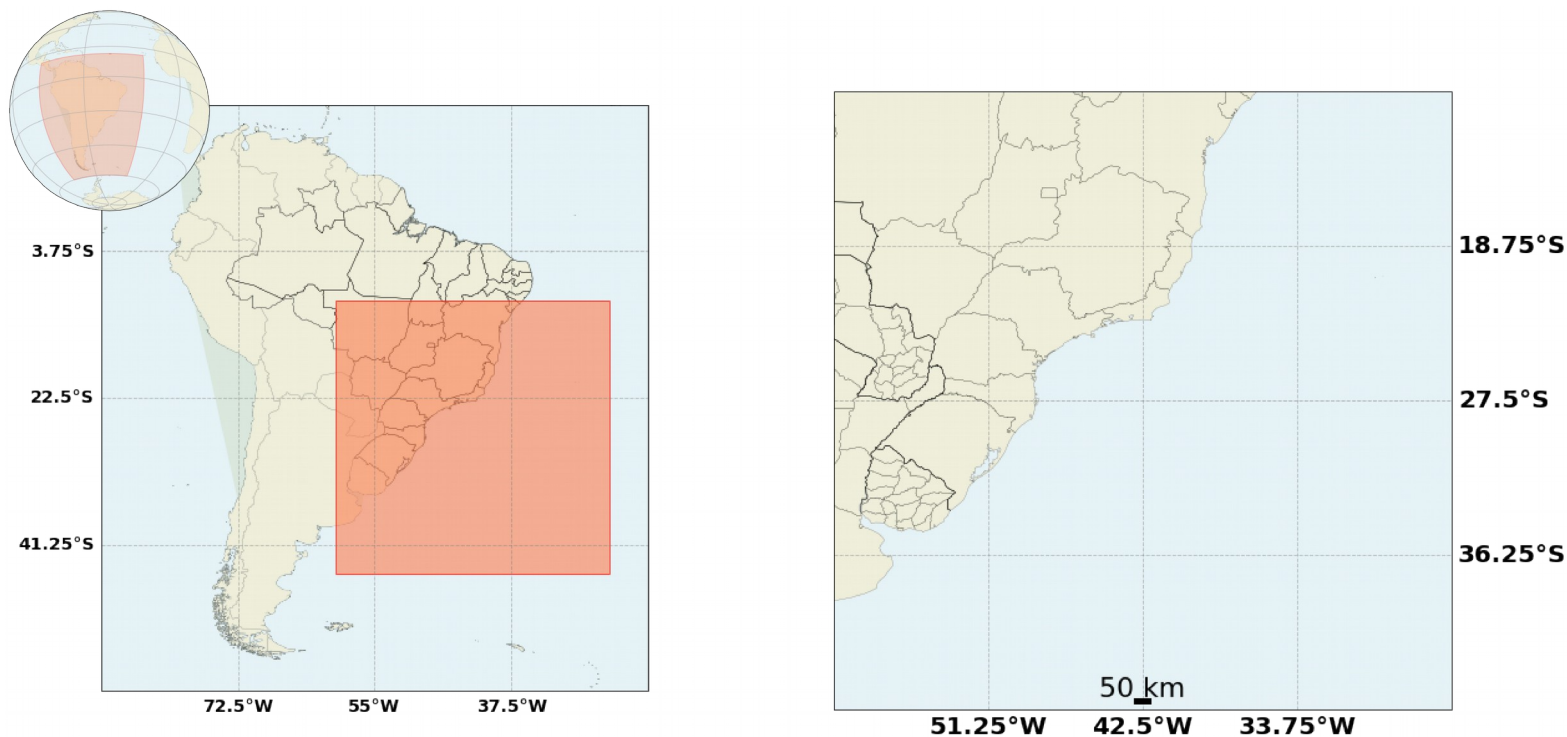


Figura 1 – Área de Estudo. Fonte: O Autor

# Hipótese

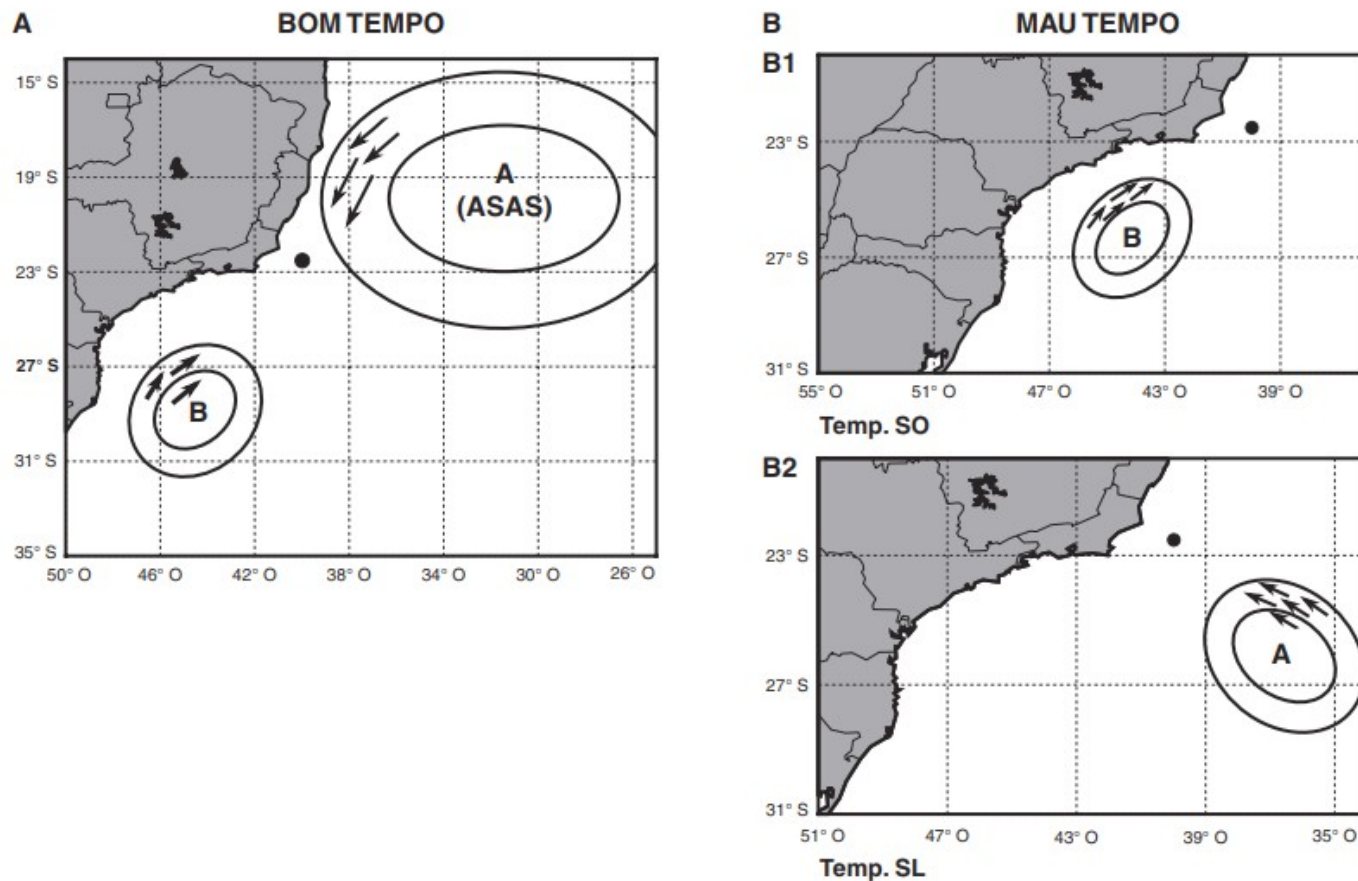


Figura 2 – Exemplos típicos de A) Situação de Bom Tempo com ASAS simultâneo à presença de um ciclone que pode induzir swell na Bacia de Campos; B1) Situação de Mau Tempo com tempestade de sudoeste produzida por ciclone; B2) Situação de Mau Tempo com tempestade de sudeste provocada por anticiclone. (Fonte: PARENTE et al., 2015)

- A identificação de padrões atmosféricos recorrentes pode ser feita através de base de dados históricos das componentes zonal e meridional do vento, além da altura do geopotencial.
- Classificados estes padrões atmosféricos, pode-se tentar aferir quanto a variabilidade das características das ondas de gravidade associadas a estes padrões.

# Objetivo

- **Contribuir para melhor entendimento da climatologia de ondas relacionada com os padrões meteorológicos**
  - Aplicar métodos estatísticos na série temporal de onda
  - Identificar os dias com extremos positivos e negativos
  - Fazer compósitos dos dias com extremos
  - Relacionar a média dos compósitos com a climatologia de ondas

# Metodologia

- **Base de dados**

- Altura significativa de onda do Global Ocean Waves Reanalysis WAWERYS, do E.U. Copernicus Marine Service Information.
  - Resolução  $1/5^\circ$  espacial e 3 h temporal.
  - 1991-2020



# Metodologia

- **Base de dados**

- Componentes u e v do vento e altura do geopotencial do ERA5 – Copernicus (1991-2020)
  - 0,25° de resolução espacial e 1 hora de resolução temporal

# Metodologia

- **Base de dados de onda**
  - Selecionar um ponto no domínio
  - Médias diárias
  - Retiradas Tendência
  - Autocorrelação
  - Climatologia
  - Anomalia
  - Filtro passa-alta
  - Seleção dos extremos de onda

# Metodologia

- **Base de dados atmosféricos**
  - Classificação dos compósitos de extremos de onda em diferentes estações do ano (Compósito dos compósitos)
  - Média sazonal dos compósitos
  - Relação com a climatologia de ondas

# Resultados

- **Série Temporal**
- **Autocorrelação**
- **Série Temporal Climatológica**
- **Anomalia da série**
- **Aplicação do filtro**
- **Seleção dos compósitos**
- **Média dos compósitos dos dados atmosféricos**

# Resultados - Série Temporal

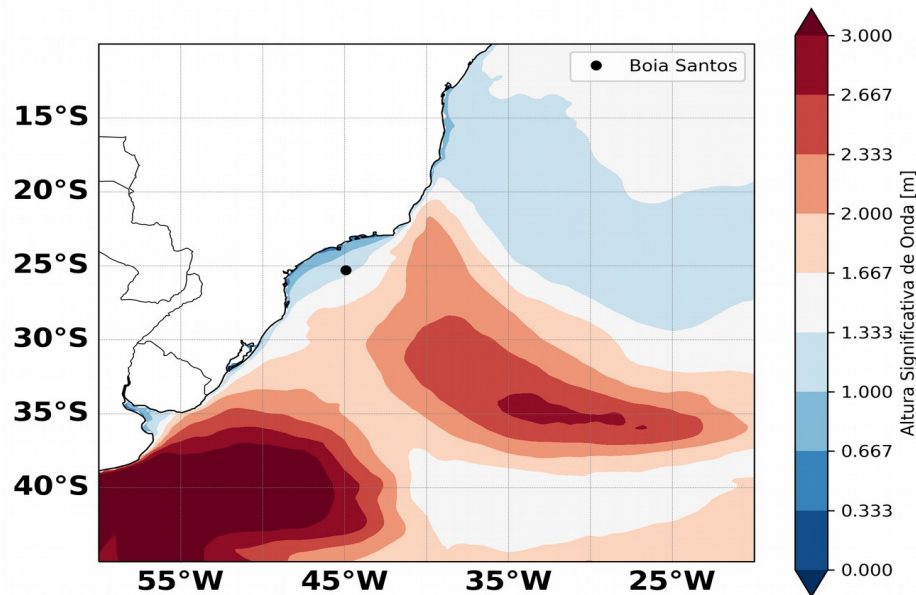


Figura 3 - Mapa de HS e ponto selecionado para estudo. (Fonte: O Autor)

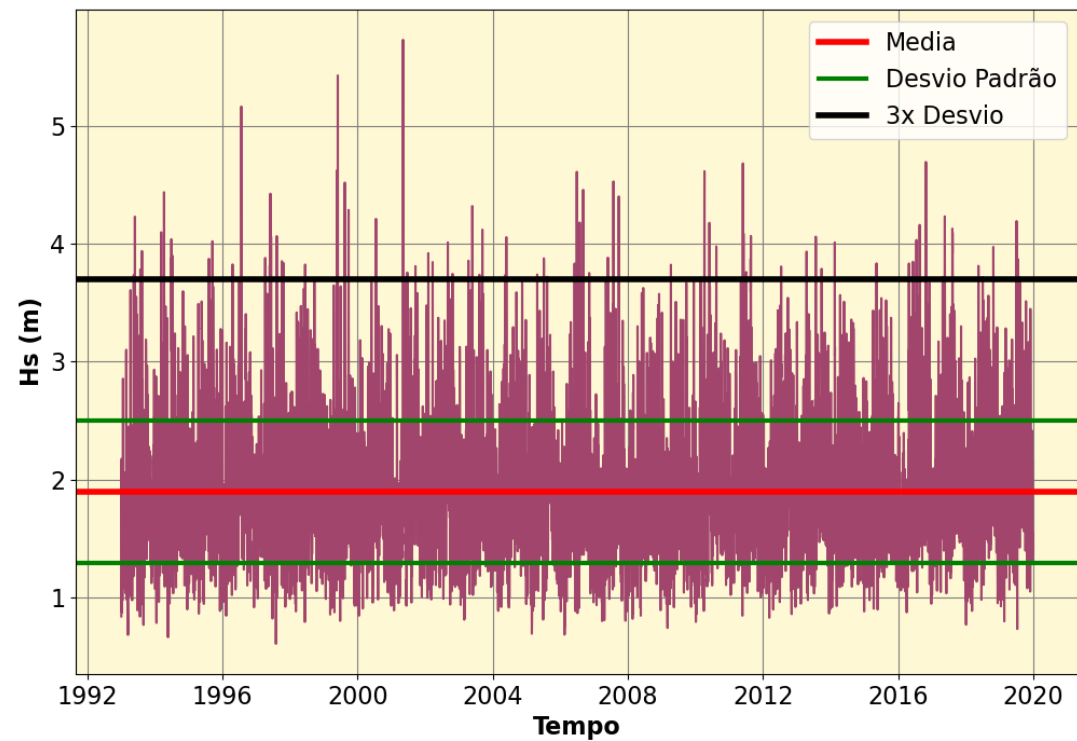


Figura 4 – Série Temporal de HS, linhas com a média, desvio padrão e 3x desvio padrão. (Fonte: O Autor)

# Resultados - Série Temporal

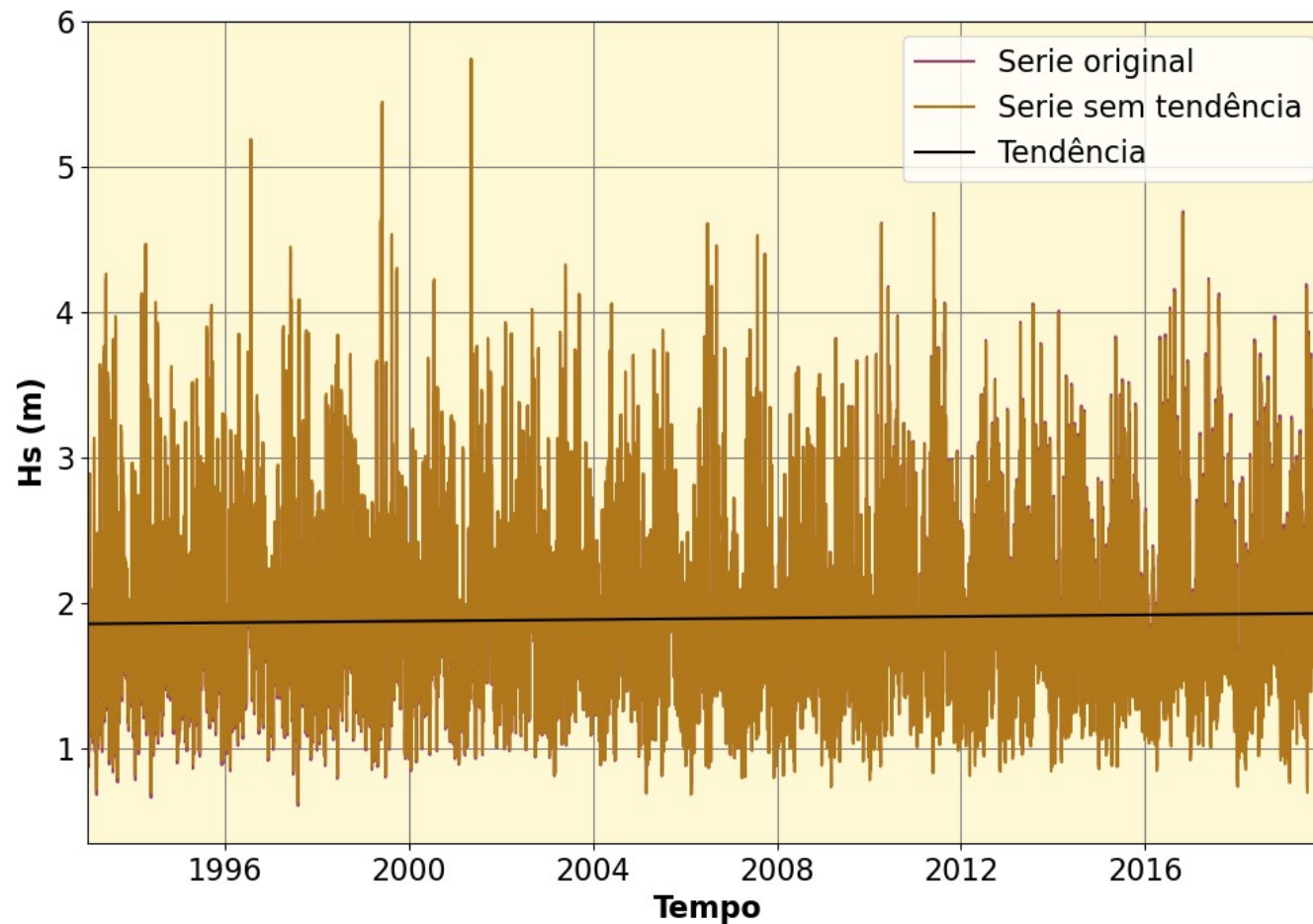


Figura 5 – Série Temporal de HS com tendência, sem tendência e a reta de tendência. (Fonte: O Autor)

# Resultados - Autocorrelação

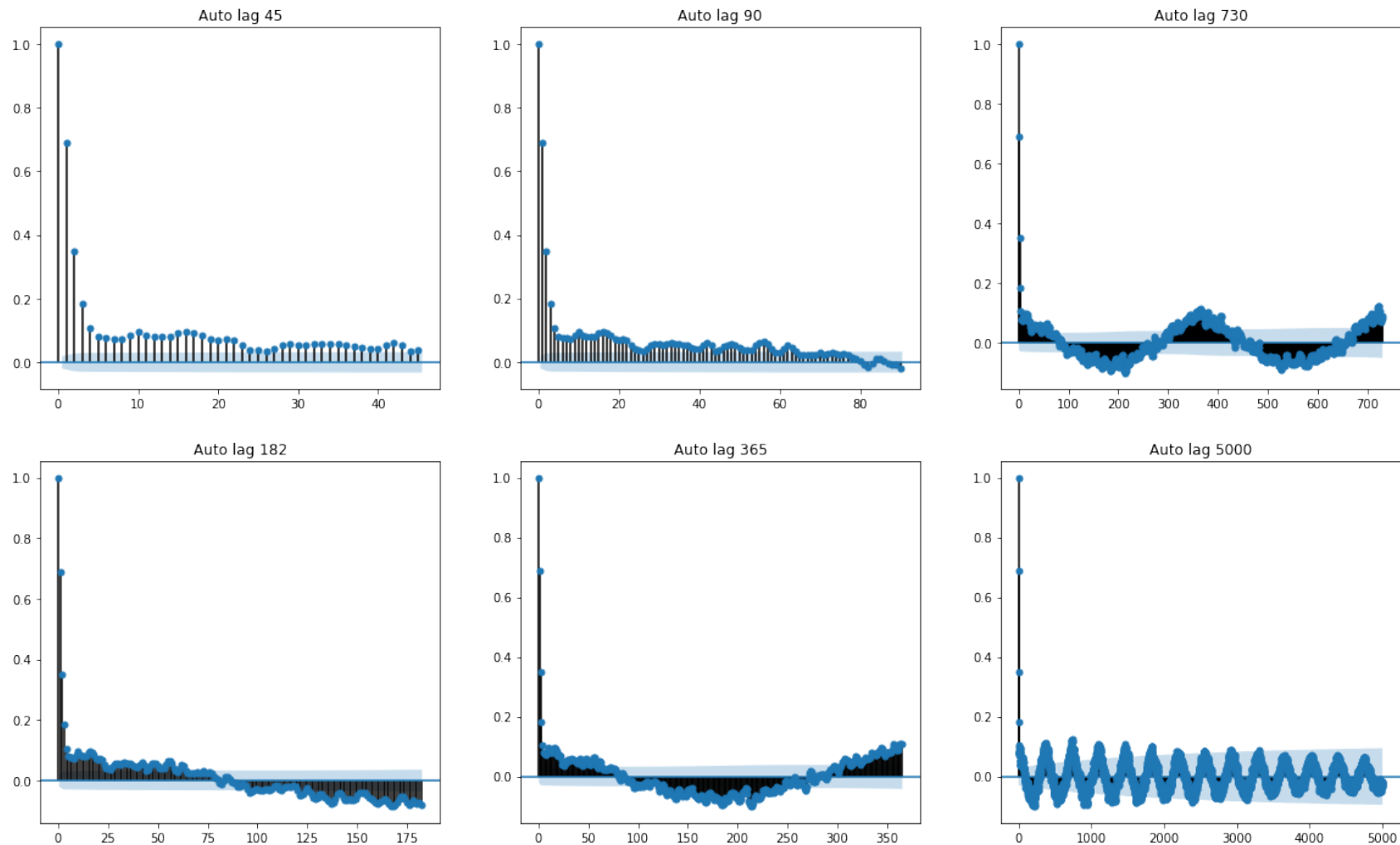


Figura 6 – Autocorrelação da série de HS com diferentes lags. (Fonte: O Autor)

# Resultados - Climatologia



Figura 7 – Série Temporal Climatológica de HS . (Fonte: O Autor)



# Resultados - Climatologia

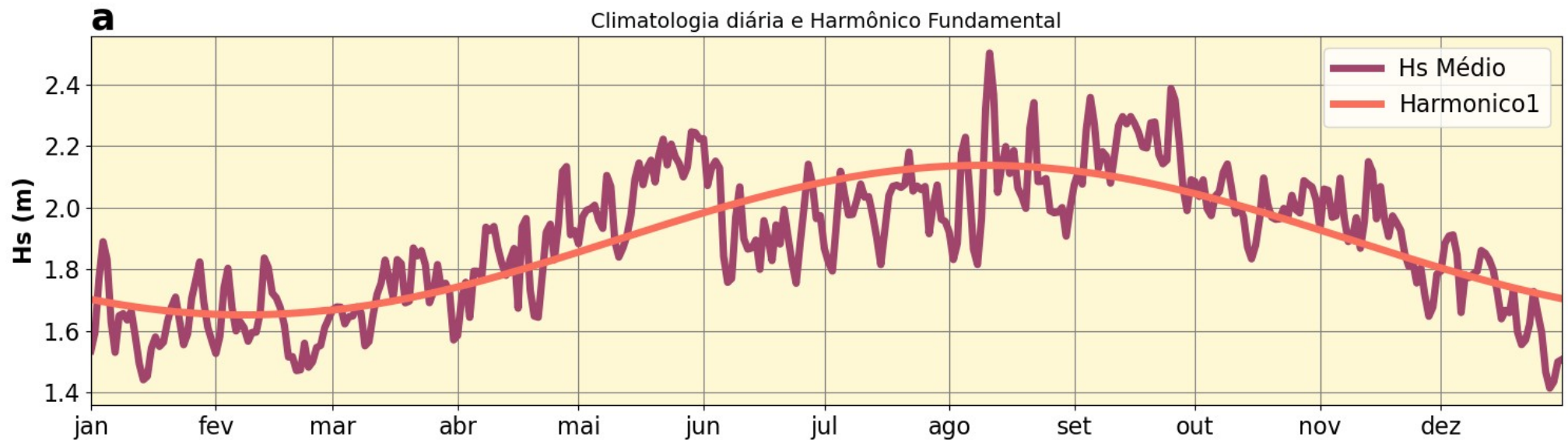


Figura 8 – Série Temporal Climatológica de HS e Harmônico Fundamental . (Fonte: O Autor)

# Resultados - Anomalias

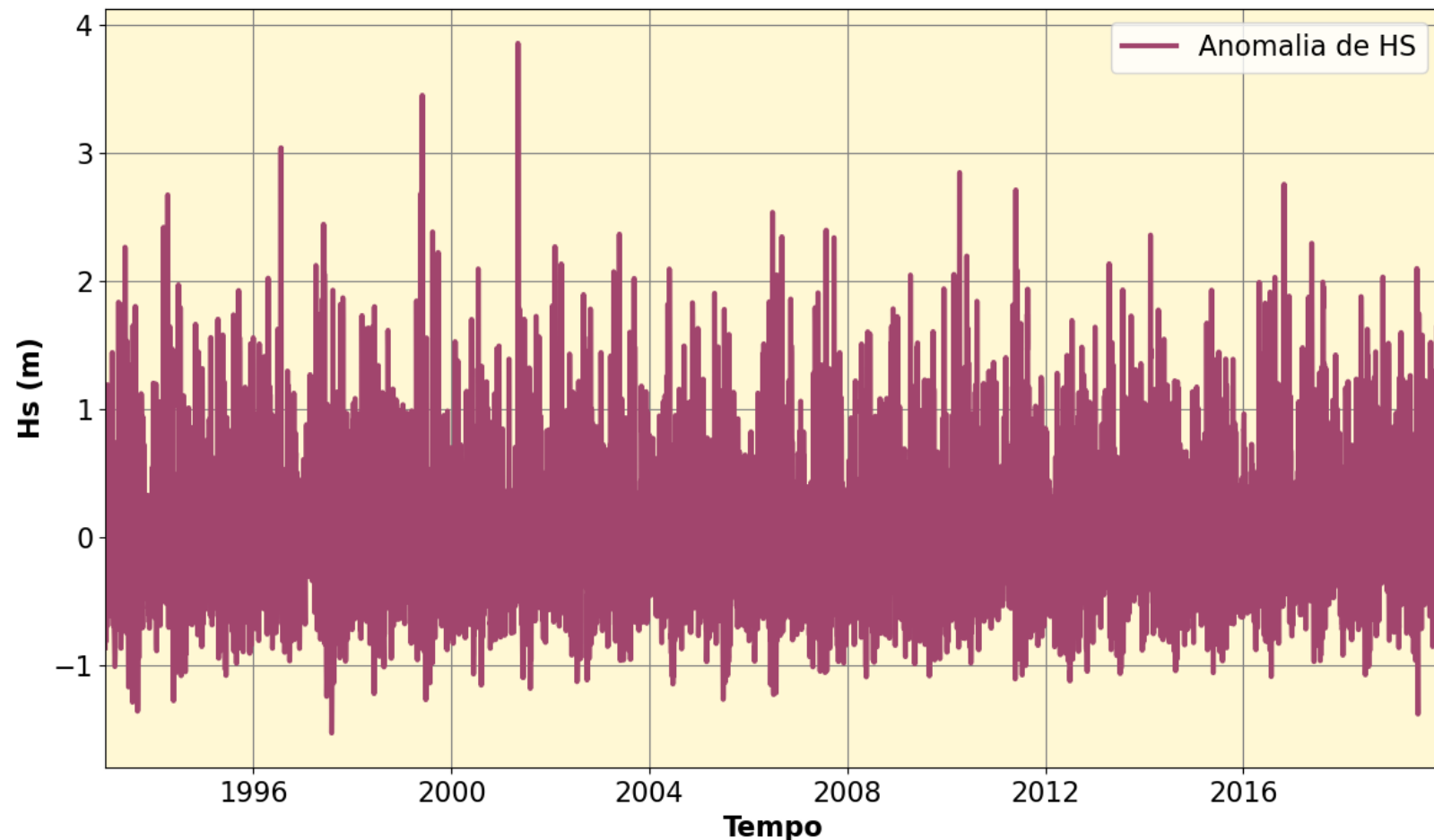


Figura 9 – Série Temporal de Anomalia de HS . (Fonte: O Autor)

# Resultados - Filtros

Figura 10 – a) Série Temporal de Anomalia de HS; b) Série de Anomalia de HS filtrada com passa baixa > 10 dias; c) Série de Anomalia de HS filtrada com passa-alta < 10 dias. (Fonte: O Autor)



# Resultados - Filtros

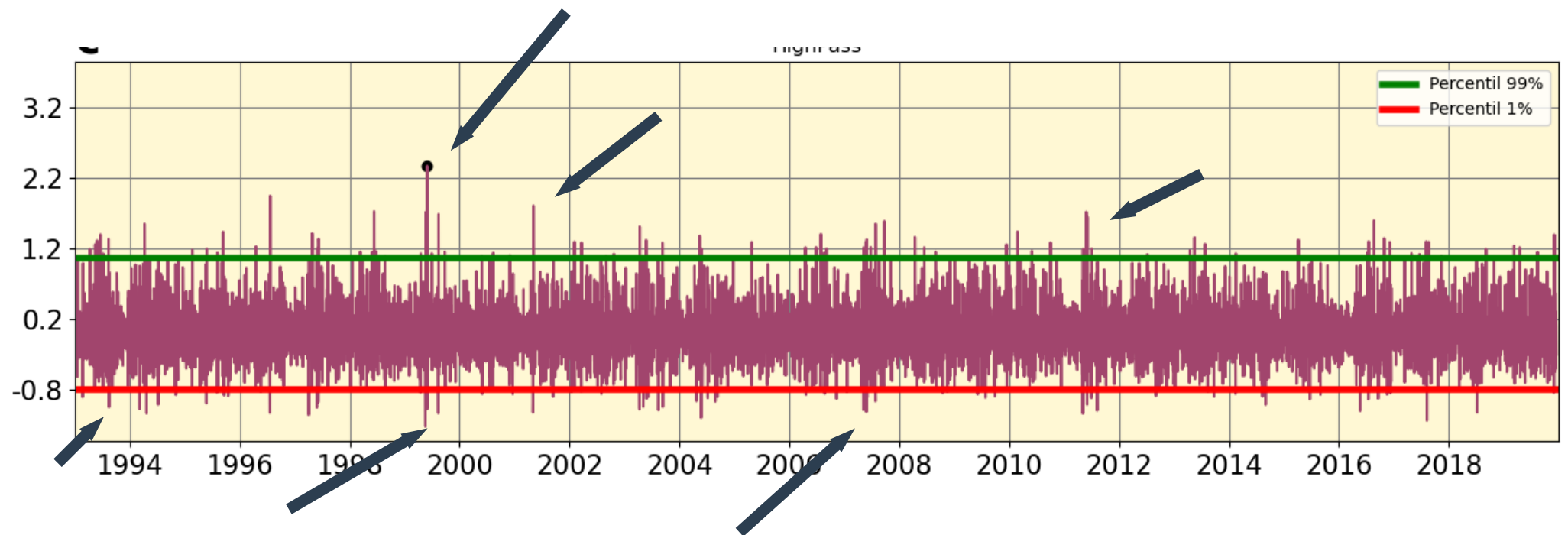


Figura 11 - Série de Anomalia de HS filtrada com passa-alta < 10 dias (Fonte: O Autor)

# Resultados - Compósitos

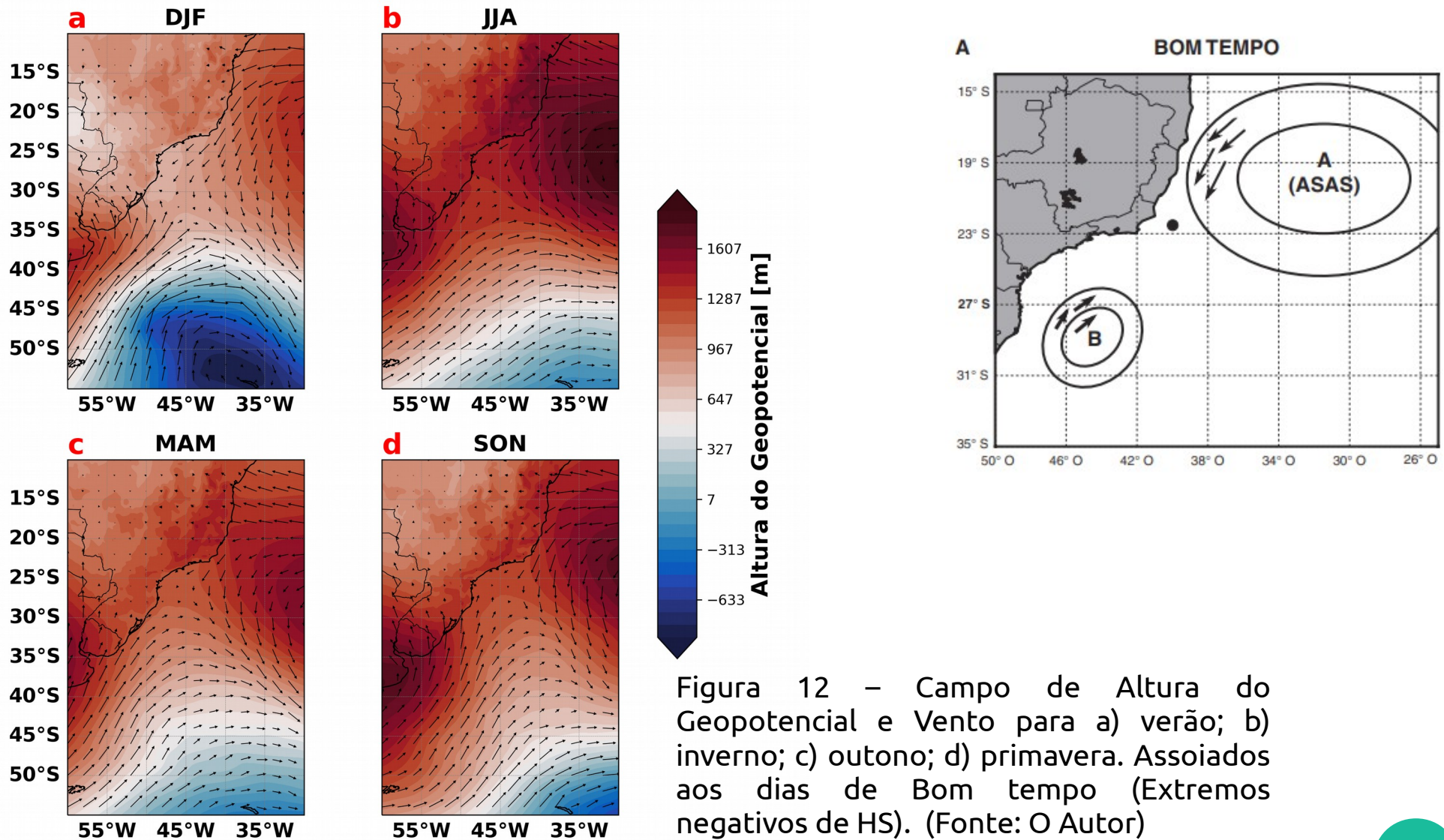


Figura 12 – Campo de Altura do Geopotencial e Vento para a) verão; b) inverno; c) outono; d) primavera. Associados aos dias de Bom tempo (Extremos negativos de HS). (Fonte: O Autor)



# Resultados - Compósitos

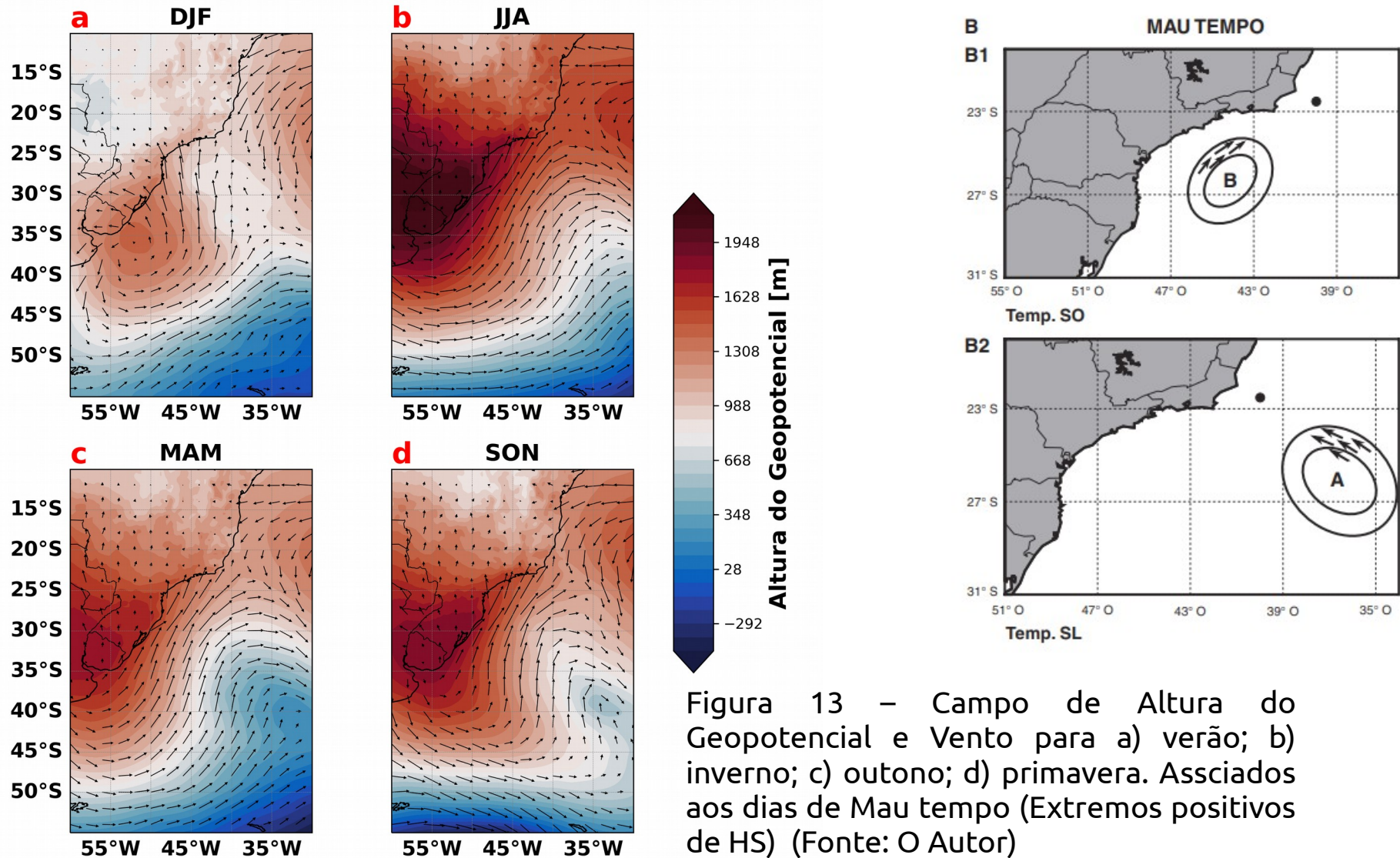


Figura 13 – Campo de Altura do Geopotencial e Vento para a) verão; b) inverno; c) outono; d) primavera. Associados aos dias de Mau tempo (Extremos positivos de HS) (Fonte: O Autor)

# Conclusões

Este trabalho permitiu a aplicação dos conceitos abordados em sala de aula, no âmbito da utilização de métodos estatísticos e análise de séries temporais, voltados para as ciências atmosféricas.

Os resultados indicam que há uma sazonalidade bem definida. No entanto, quanto à tendência dos valores de HS, não é observado nada significativo.

Como visto por Parente (1999); Campos et al. (2009); Parente (2015); Campos (2016); Gramscianinov (2020); Gramscianinov (2021), pistas de vento de sul associadas à ciclones podem induzir extremos de ondas na região da baía de Campos e Santos.

Apesar da posição dos fenômenos obtidos nos compósitos não serem instantaneamente iguais a todos os casos, pelo fato de terem sido calculadas as médias, é possível dizer que esse acoplamento físico associado à resposta do oceano ao vento é condizente com o que foi estudado até a atualidade.

# Referências Bibliográficas

- PARENTE, Carlos Eduardo et al. CLIMATOLOGIA DE ONDAS. In: MARTINS, R.P.; GROSSMANN-MATHESON, G.S. (Ed.). Meteorologia e Oceanografia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. cap. 2, p. 55-96
- C.B. Gramscianinov, R.M. Campos, C. Guedes Soares e R. de Camargo. “Extreme waves generated by cyclonic winds in the western portion of the South Atlantic Ocean”. Em: Ocean Engineering 213 (2020), p. 107745. ISSN: 0029-8018. DOI: [https : / / doi . org / 10 . 1016 / j . oceaneng.2020.107745](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107745).
- Michelle Simões Reboita, Rosmeri Porfírio da Rocha, Tércio Ambrizzi e Shigetoshi Sugahara. “South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3)”. Em: Climate Dynamics (2010). DOI: 10.1007/s00382-009-0668-7
- Manoel Alonso Gan, Manoel Alonso Gan, Vadlamudi Brahmananda Rao e Vadlamudi Brahmananda Rao. “Surface Cyclogenesis over South America”. Em: Monthly Weather Review (1991). DOI: 10.1175/1520-0493(1991)119(1293:scosa)2.0.co;2
- R. M. Campos. Análise dos extremos de onda no Rio de Janeiro associados a ciclones extratropicais no Atlântico Sul. [Tese]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Engenharia Oceânica do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE). 2009





**Obrigado!**  
**Palavra Aberta**