

Análise de Dados Climáticos da Paraíba para Identificação de Padrões e Mudanças Climáticas

Anderson Lucas Cordeiro Braz

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Bacharelado em Engenharia de Computação

Orientador: Prof. Paulo Ribeiro Lins Júnior
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Campina Grande, 2025

Introdução

- Clima: estado médio da atmosfera em longo prazo, em constante transformação.
- Atividades humanas aceleram mudanças climáticas via emissão de GEE.
- Impactos em setores estratégicos: agricultura, energia, recursos hídricos.
- Necessidade de detectar e monitorar tendências climáticas regionalmente.
- **Proposta:** Analisar dados históricos (1994-2024) da Paraíba usando métodos estatísticos robustos.

Objetivos

Objetivo Geral

- Analisar dados climáticos históricos do estado da Paraíba para detecção de tendências nas variáveis climáticas ao longo das últimas três décadas.

Objetivos Específicos

- ① Coletar e tratar dados históricos de estações meteorológicas da Paraíba.
- ② Consolidar os dados em um banco de dados padronizado usando Pandas.
- ③ Realizar análises exploratórias mensais, anuais e regionais.
- ④ Aplicar o teste não paramétrico de Mann-Kendall e o estimador de inclinação de Sen.
- ⑤ Gerar gráficos e relatórios sobre padrões e anomalias climáticas.

Metodologia - Fontes de Dados

- **AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba):**
 - Dados pluviométricos (1994–2024)
 - Volume mensal de chuvas por município
- **INMET (Instituto Nacional de Meteorologia):**
 - Dados meteorológicos (2008–2024) de 8 estações
 - Variáveis: temperatura, umidade, pressão, radiação, vento
- **Ferramentas:** Python, Pandas, Matplotlib, PyMannKendall

Metodologia - Teste de Mann-Kendall

- Teste não paramétrico para identificar tendências monotônicas
 - Não exige normalidade dos dados
 - Robusto a outliers
- Versões aplicadas:
 - Original
 - Modificado por Hamed & Rao (1998)
 - Modificado por Yue & Wang (2004)
- **Estatística S:** $S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$
- **Estimador de Sen:** $\beta = \text{mediana}\left(\frac{x_j - x_i}{j-i}\right)$

Metodologia - Processamento

- Pré-processamento:
 - Remoção de valores ausentes (-9999)
 - Agregação: horária → diária → mensal
- Análise regional (6 mesorregiões):
 - Litoral, Brejo, Agreste, Cariri/Curimatau, Sertão, Alto Sertão
- Variáveis analisadas:
 - Precipitação (AESA + INMET)
 - Temperatura (média, mínima, máxima)
 - Umidade relativa
 - Pressão atmosférica

Resultados - Precipitação (1994-2024)

- Período dividido em 3 décadas para análise comparativa
- Faixa 1994-2003: maior frequência de meses acima de 200 mm (7 meses)
- Faixa 2004-2013: volume elevado apenas em janeiro de 2004
- Faixa 2014-2024: redução drástica, raramente ultrapassa 200 mm/mês
- Mudança no regime pluviométrico ao longo do tempo

Resultados - Precipitação (1994-2024)

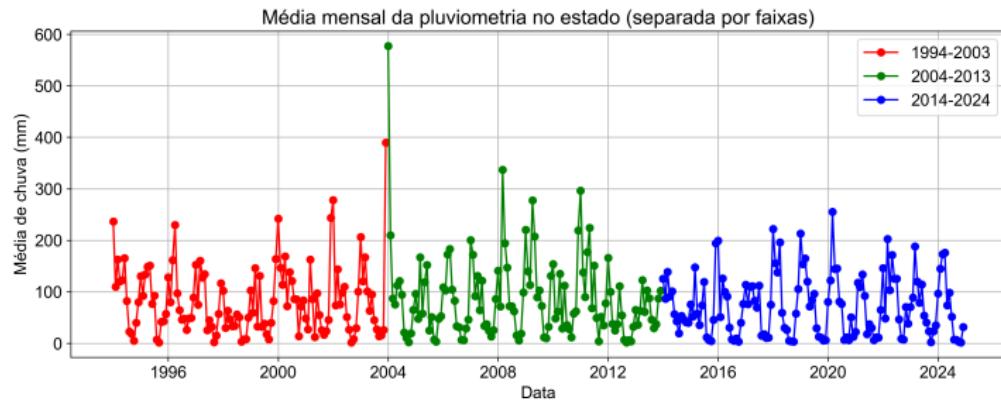


Figure: Média mensal de chuvas por década (1994-2003: vermelho, 2004-2013: verde, 2014-2024: azul)

Análise Mensal da Precipitação

- Faixa 1994-2003: picos em janeiro e dezembro
- Faixa 2004-2013: aumento em janeiro e fevereiro
- Faixa 2014-2024: maior volume em março
- Redução geral na maioria dos meses na última década
- Alteração no padrão sazonal das chuvas

Resultados - Tendência na Precipitação

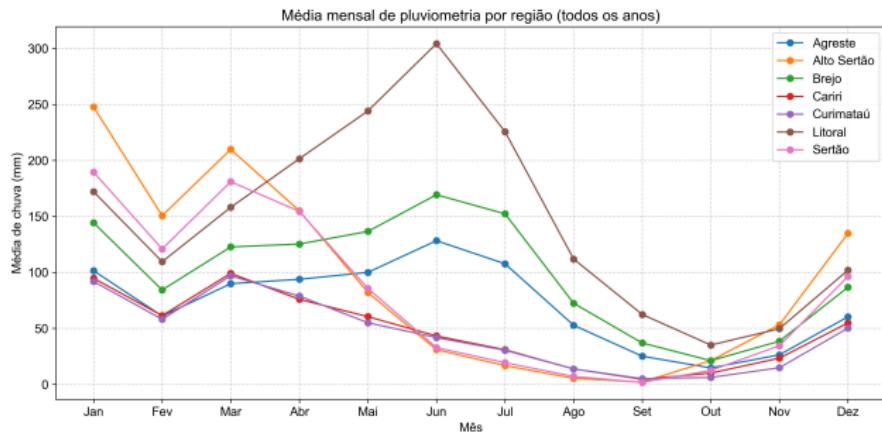


Figure: Média mensal agrupada por faixa de anos

Teste Mann-Kendall para Precipitação

- Dados pluviométricos possuem correlação serial natural
- Teste Original e Hamed & Rao não detectam tendência significativa
- Apenas Yue & Wang detecta tendência decrescente ($p = 0.000151$)
- Estimador de Sen: redução de 0.04 mm/mês
- Redução total de 15 mm em 372 meses analisados

Resultados - Tendência na Precipitação

	Original	Hamed & Rao	Yue & Wang
Tendência	no trend	no trend	decreasing
p-valor	0.114619	0.099685	0.000151
Tau	-0.054807	-0.054807	-0.054807
Slope (mm/mês)	-0.040406	-0.040406	-0.040406

Table: Resultados do teste Mann-Kendall para precipitação estadual

Análise Regional da Precipitação

- Divisão do estado em 7 regiões conforme AESA
- Redução pluviométrica em quase todas as regiões
- Exceção: região Litoral sem tendência significativa
- Menor média de chuva em 2014-2024 em todas as regiões (exceto Litoral)
- Cariri e Sertão: mais afetados pela redução

Resultados - Precipitação por Região

Chuva mensal por região (por faixa de anos) – Parte 1

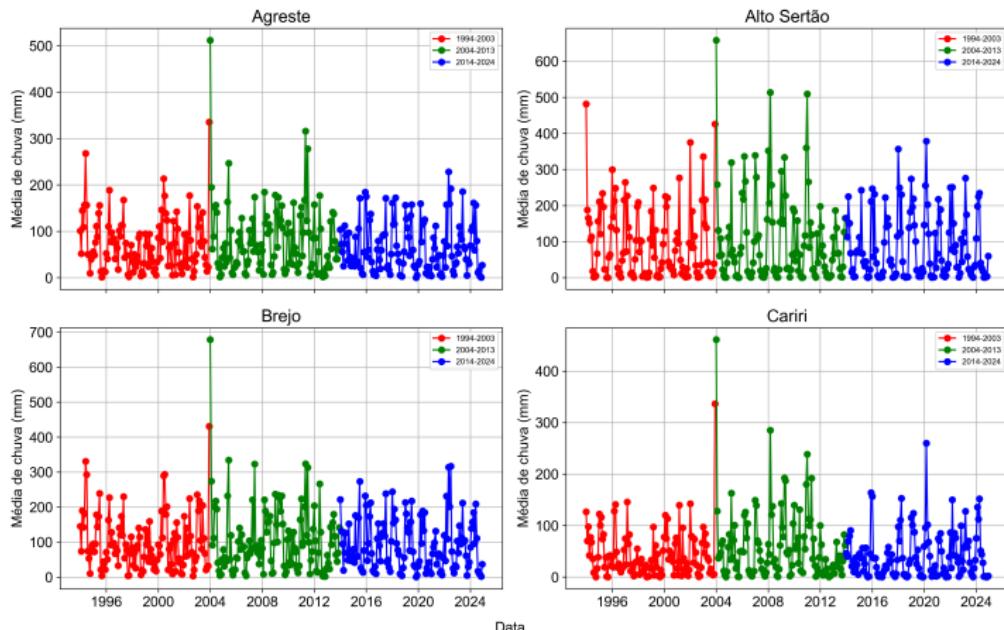


Figure: Média mensal por região (Agreste, Alto Sertão, Cariri)

Resultados - Precipitação por Região

Chuva mensal por região (por faixa de anos) – Parte 2

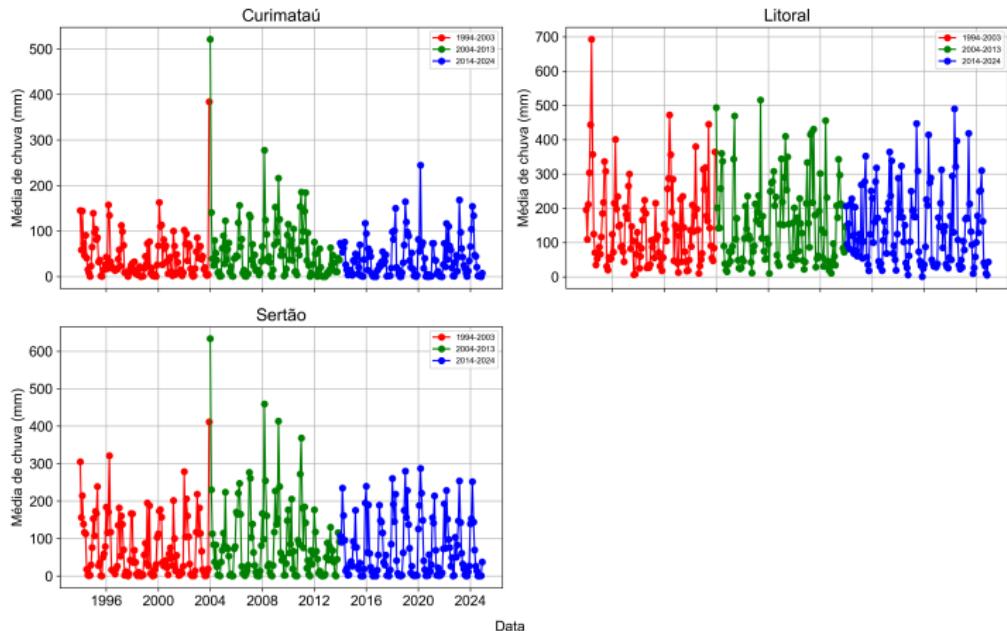


Figure: Média mensal por região (Agreste, Alto Sertão, Cariri)

Resultados Regionais - Parte 2

Média mensal de pluviometria por região (faixas de anos) – Parte 1

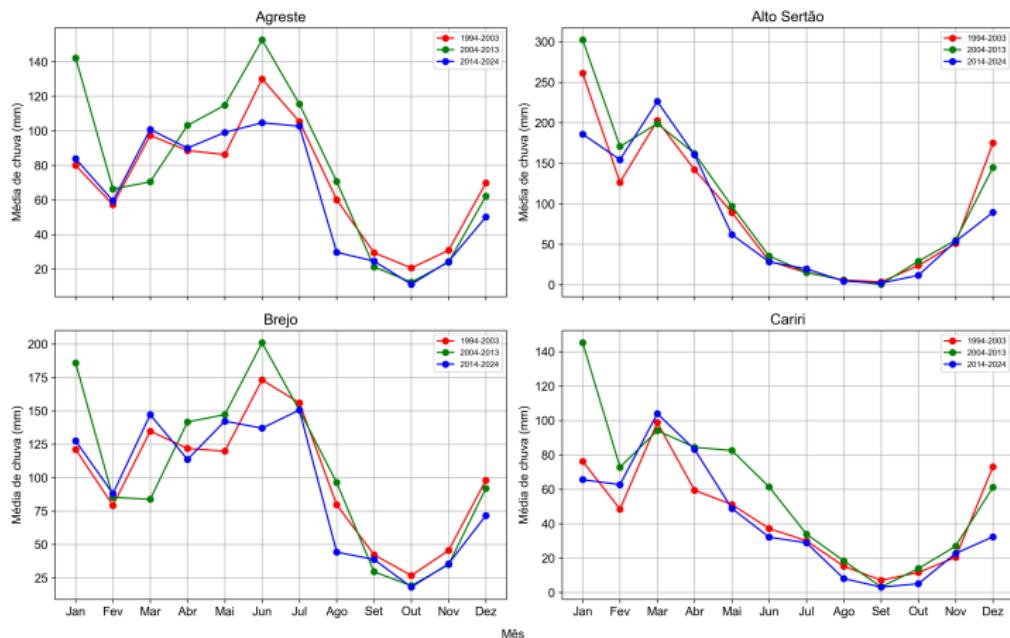


Figure: Média mensal por região (Curimatau, Litoral, Sertão)

Resultados Regionais - Parte 2

Média mensal de pluviometria por região (faixas de anos) – Parte 2

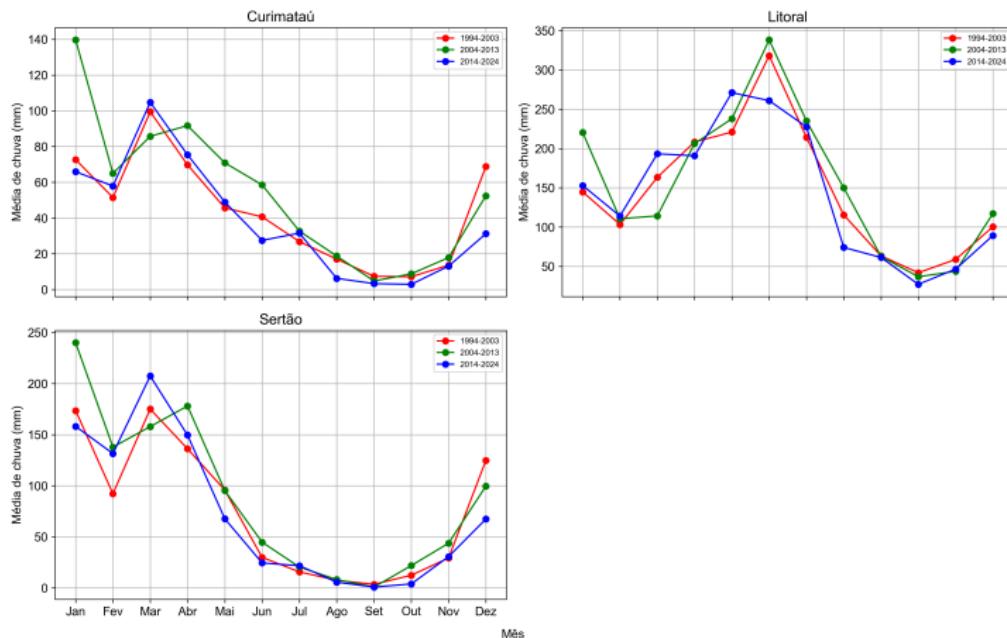


Figure: Média mensal por região (Curimatau, Litoral, Sertão)

Tendências Regionais - Mann-Kendall

- Apenas variante de Yue & Wang detecta tendências significativas
- Todas as regiões exceto Litoral apresentam tendência decrescente
- Cariri e Sertão: p-valores mais significativos (0.020782 e 0.010125)
- Litoral: maior variabilidade natural mascara tendências de longo prazo
- Estimador de Sen negativo mesmo para Litoral (não significativo)

Resultados - Tendência por Região

Região	Tendência	p-valor	Tau	Slope
Agreste	decreasing	0.001681	-0.044619	-0.028383
Alto Sertão	decreasing	0.019852	-0.042199	-0.020553
Brejo	decreasing	0.000844	-0.041460	-0.036348
Cariri	decreasing	0.020782	-0.049054	-0.016875
Curimatau	decreasing	0.007867	-0.053908	-0.016805
Litoral	no trend	0.178258	-0.016346	-0.021255
Sertão	decreasing	0.010125	-0.039547	-0.011803

Table: Resultados do teste Yue & Wang por região

Interpretação das Tendências Regionais

- Sertão: padrão linear negativo (aridificação consistente)
- Alto Sertão: aceleração da tendência negativa (não-linear)
- Curimatau e Cariri: grande diminuição na última década
- Brejo e Agreste: recuperação temporária, depois retorno à tendência negativa
- Litoral: comportamento atípico, inversão temporária da tendência

Resultados - Sen's Slope por Região

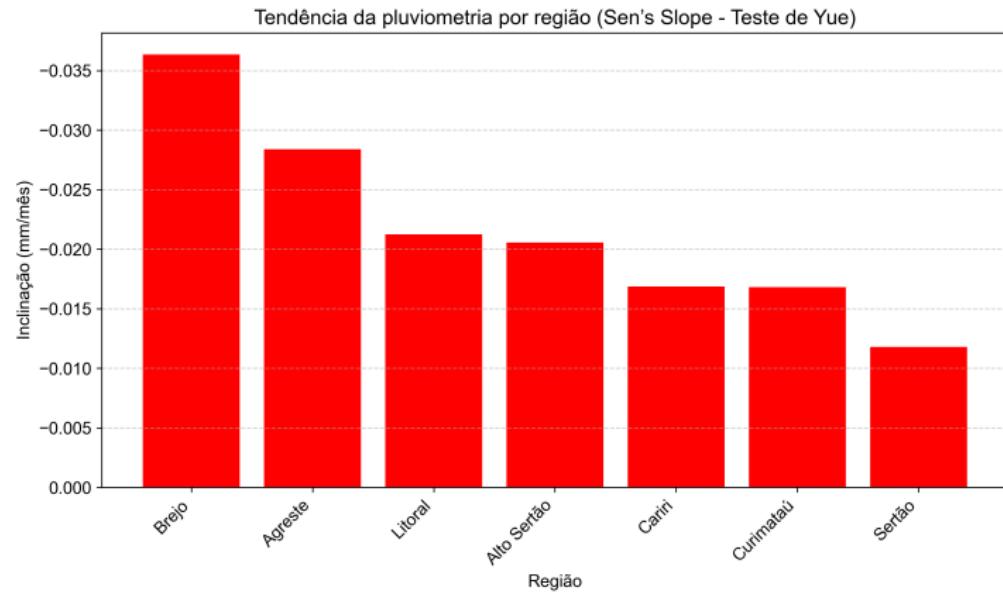


Figure: Sen's Slope por região pluviométrica

Resultados - Temperatura (2008-2024)

- Tendência positiva detectada por todas as variantes do teste
- Aumento significativo em temperaturas mínima, média e máxima
- Diferente da precipitação: correlação não mascara tendência
- Aquecimento consistente em todo o estado
- Período relativamente curto (16 anos) com mudança significativa

Resultados - Temperatura (2008-2024)

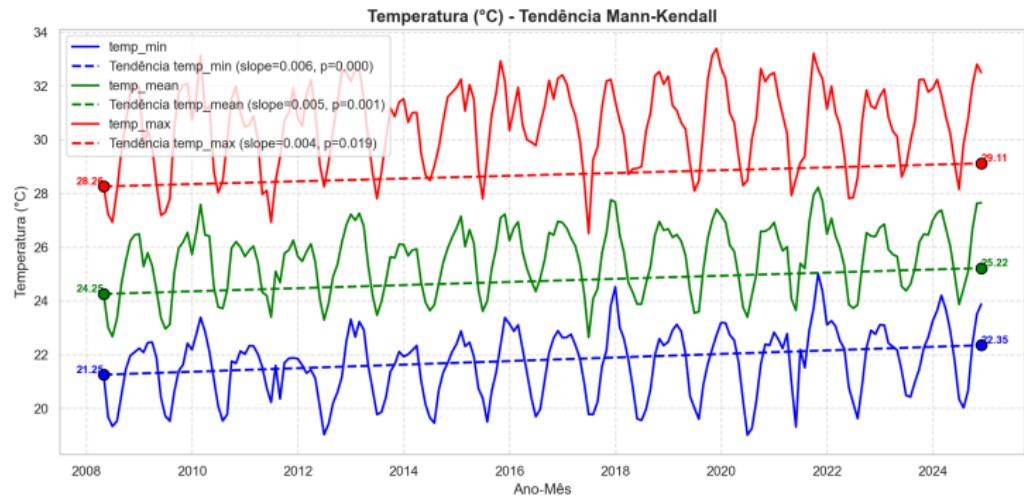


Figure: Evolução da temperatura (mínima, média, máxima) com linha de tendência

Tendências na Temperatura

- Temperatura mínima: aumento de 0.97°C (slope = $0.005513\ ^{\circ}\text{C}/\text{mês}$)
- Temperatura máxima: aumento de 0.85°C (slope = $0.004308\ ^{\circ}\text{C}/\text{mês}$)
- Temperatura média: aumento de 1.1°C (slope = $0.004843\ ^{\circ}\text{C}/\text{mês}$)
- Todas as variantes concordam: $p < 0.05$
- Yue & Wang: $p = 0.000000$ (extremamente significativo)
- Crescimento "assustador" considerando período de apenas 16 anos

Resultados - Tendência na Temperatura

	Temp Mín	Temp Máx	Temp Média
Tendência	increasing	increasing	increasing
p-valor (Yue)	0.000000	0.000000	0.000000
Slope (°C/mês)	0.005513	0.004308	0.004843
Aumento total	+0.97°C	+0.85°C	+1.1°C

Table: Resultados do teste Mann-Kendall para temperatura

Resultados - Umidade Relativa

- Comportamento distinto da temperatura
- Alta autocorrelação temporal nos dados de umidade
- Apenas Yue & Wang detecta tendência significativa
- Tendência negativa para valores médios e máximos
- Valores mínimos: sem tendência significativa
- Padrão de secagem atmosférica

Resultados - Umidade Relativa

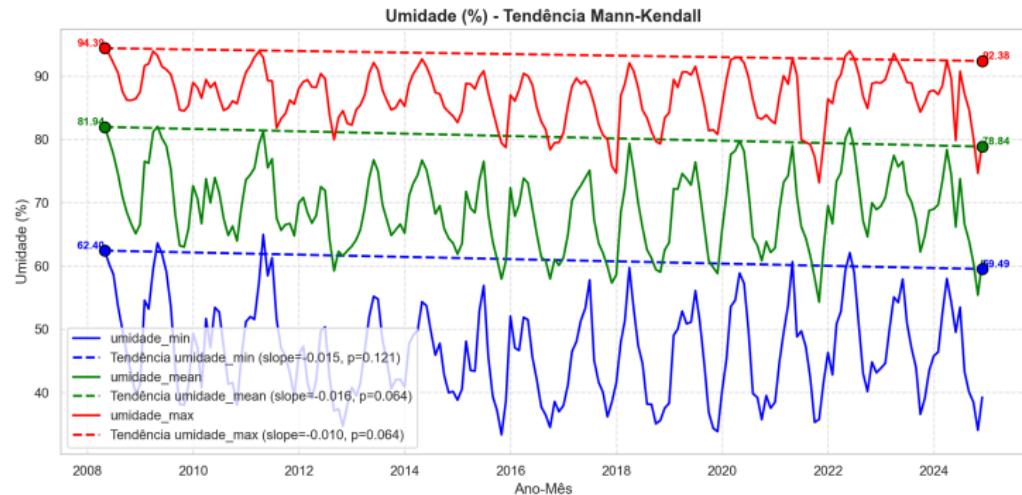


Figure: Evolução da umidade relativa (mínima, média, máxima)

Tendências na Umidade

- Umidade média: queda de 3.07% (slope = -0.015575 %/mês)
- Umidade mínima: queda de 2.91% (slope = -0.014656 %/mês)
- Umidade máxima: queda de 1.96% (slope = -0.010102 %/mês)
- Correção para autocorrelação essencial para detecção
- Padrão combinado: aquecimento + secagem

Resultados - Pressão Atmosférica

- Sem tendência estatisticamente significativa
- Todas as variantes do teste descartam hipótese de tendência
- Estimador de Sen mostra valores positivos, mas insignificantes
- Variável menos afetada pelas mudanças climáticas no período
- Queda generalizada observada no início de 2021

Resultados - Pressão Atmosférica

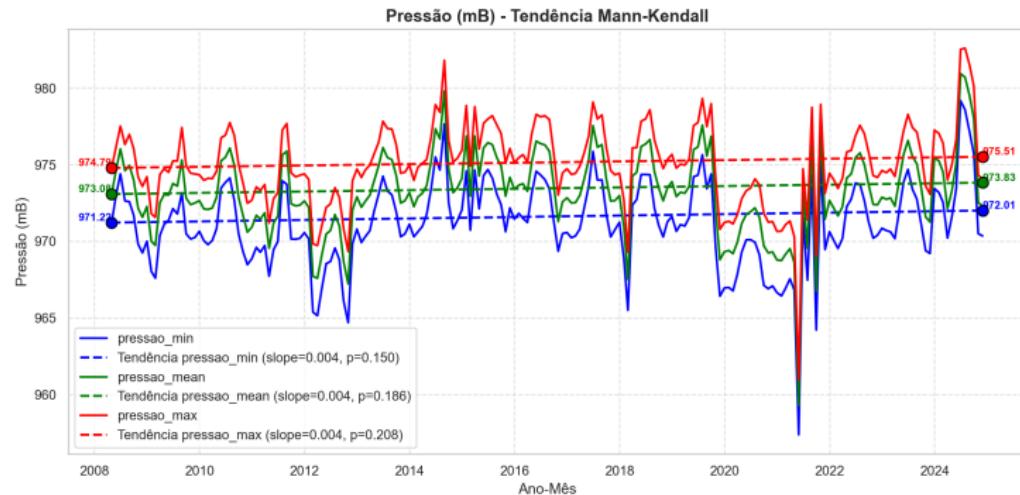


Figure: Evolução da pressão atmosférica

Análise por Cidade - Temperatura

- Temperatura máxima: aumento em todas as 8 cidades
- João Pessoa: maior crescimento (capital, efeito de ilha de calor)
- Temperatura média: aumento em todas, exceto Campina Grande
- Patos e Monteiro (interior): maiores aumentos na temperatura média
- Interior do estado: aquecimento mais intenso

Resultados - Análise por Cidade

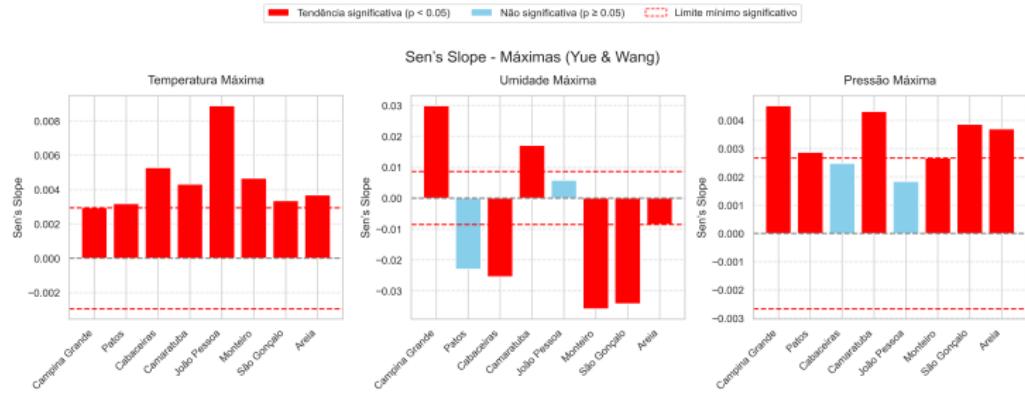


Figure: Sen's Slope para temperatura máxima por cidade

Análise por Cidade - Umidade

- Umidade máxima: comportamentos mistos
- Aumento: Camaratuba e Campina Grande
- Queda: Cabaceiras, Monteiro, São Gonçalo, Areia
- Sem tendência: Patos e João Pessoa
- Umidade média: padrão similar, exceto João Pessoa (queda)
- Heterogeneidade nas respostas climáticas locais

Resultados - Análise por Cidade (Médias)

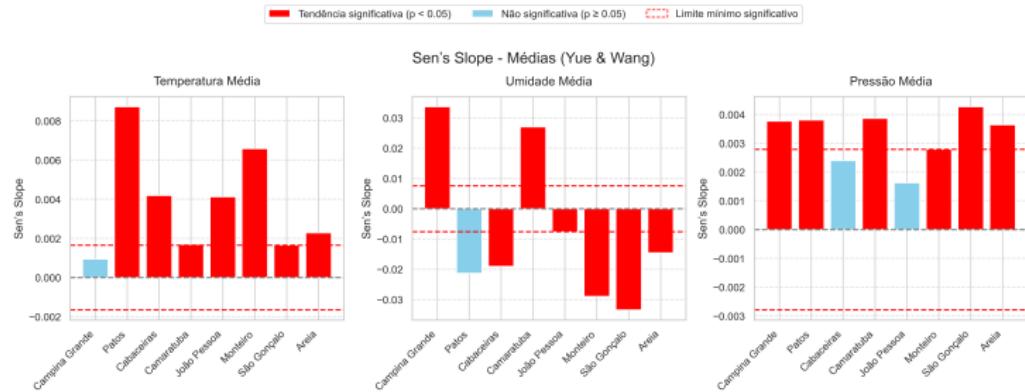


Figure: Sen's Slope para valores médios por cidade

Análise por Cidade - Valores Mínimos

- Temperatura mínima: crescimento em todas as cidades
- Patos e Monteiro: maiores aumentos
- Campina Grande e São Gonçalo: tendências insignificantes
- Umidade mínima: divisão entre tendências positivas e negativas
- Pressão: padrão similar aos valores máximos e médios
- Cabaceiras: única alteração na tendência da pressão

Resultados - Análise por Cidade (Mínimos)

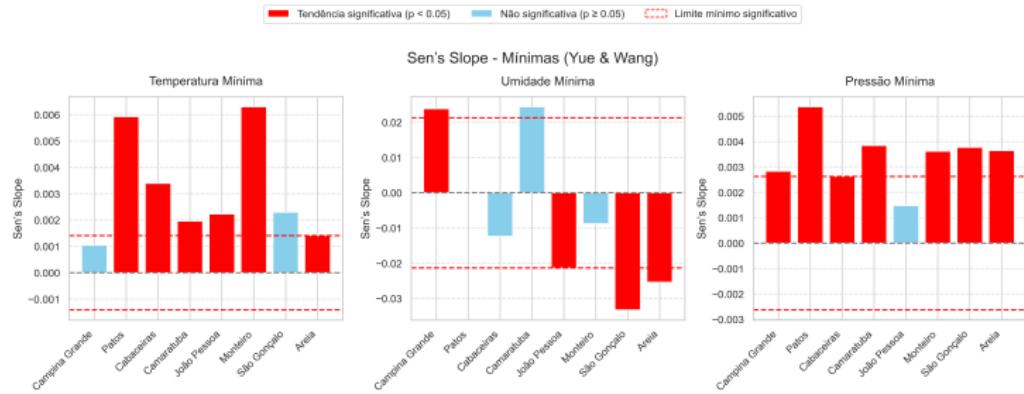


Figure: Sen's Slope para valores mínimos por cidade

- **Aquecimento acelerado:** +1.1°C em 16 anos (acima da média global)
- **Secagem atmosférica:** -3% umidade relativa
- **Redução pluviométrica:** generalizada, exceto no Litoral
- **Regiões vulneráveis:** Cariri e Sertão com maior risco de desertificação
- **Importância metodológica:** versão de Yue & Wang essencial para séries correlacionadas
- Padrões consistentes com estudos anteriores no Nordeste brasileiro

Conclusões

- Estado da Paraíba apresenta **mudança climática significativa e acelerada:**
 - Aquecimento de 1°C (2008-2024)
 - Redução de 3% na umidade relativa
 - Diminuição pluviométrica em quase todas as regiões
- Cariri e Sertão são as regiões mais vulneráveis
- Necessidade de políticas públicas específicas:
 - Adaptação climática regionalizada
 - Gestão sustentável de recursos hídricos
 - Incentivo a energias renováveis
- Contribuição metodológica: validação da versão de Yue & Wang para dados climáticos correlacionados

Possíveis Melhorias

- Ampliar período de análise com séries históricas mais longas
- Incluir mais variáveis climáticas (radiação solar, velocidade do vento)
- Estudo de correlação com variáveis socioeconômicas
- Análise de eventos extremos (secas prolongadas, ondas de calor)

Agradecimentos

- Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande
- Orientador: Prof. Paulo Ribeiro Lins Júnior
- Prof. Marcelo José Siqueira Coutinho de Almeida
- Corpo docente do curso de Engenharia de Computação
- Família pelo apoio incondicional
- AESA e INMET pela disponibilização dos dados

Referências

- GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, v. 100, p. 172–182, 2013.
- LOPES, J. C. de J. Mudanças climáticas e suas consequências socioeconômicas. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 1, n. 1, p. 127–146, 2008.
- MEDEIROS, S. E. L. et al. Influence of climatic variability on the electricity generation potential by renewable sources in the Brazilian semi-arid region. *Journal of Arid Environments*, v. 184, 2021.
- MUDELSEE, M. Trend analysis of climate time series: A review of methods. *Earth-Science Reviews*, v. 190, p. 310-322, 2019.
- YUE, S.; WANG, C. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resources Management*, v. 18, n. 3, p. 201–218, 2004.

Obrigado!

Perguntas?