

MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO RIO GRANDE DO NORTE: TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA

Maria Vitória Oliveira dos Santos ¹
Francisco Jablinski Castelhana ²

INTRODUÇÃO

Durante a longa história do planeta, o clima já se modificou por diversas vezes e formou ambientes completamente diferentes do que conhecemos hoje, por vezes, extremos, como glaciações e desertificações. Sendo assim, as alterações no clima se caracterizam como um fenômeno natural e contínuo. Contudo, o aquecimento identificado nas últimas décadas a partir da revolução industrial, vem evoluindo em um curto espaço de tempo, manifestando impactos extremos, levando a desastres ambientais, econômicos e sociais em todo globo (CASTELHANO, 2020).

Segundo relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), desde 1850 a temperatura do globo se elevou em 1.1 °C em média e as estimativas é que até 2040 alcance até 1,5°C. A teoria mais difundida sobre a origem do acelerado aumento da temperatura está associado às atividades antrópicas, que com a intensificação da atividade industrial e da combustão através da queima de combustíveis fósseis, geração de energia, transporte e desmatamentos passou a emitir altas quantidades de gases de efeito estufa (GEE), como o CO₂ - dióxido de carbono (IPCC, 2007; OLIVEIRA e ALVES, 2014).

O primeiro trabalho a mencionar o efeito estufa data do fim do século XIX pelo químico suíço Arrhenius, que foi o pontapé para que em 1975, no auge das discussões sobre as mudanças climáticas, Wallace Broecker apresenta-se pela primeira vez a ideia de aquecimento global pela influência do homem (CASTELHANO, 2020).

A mudança climática está associada, por tanto, pelas alterações nos padrões de

¹ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, mariavitoriaoliveira955@gmail.com;

² Professor adjunto do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, francisco.castelhano@ufrn.br ;

comportamento e variabilidade de elementos climáticos em curto espaço de tempo responsável por desencadear multiriscos relacionados a eventos climáticos extremos. Tais como: secas, chuvas torrenciais, inundações, aumento do nível do mar, ondas e ilhas de calor, desconforto térmico, deslizamento de terra, perdas de vidas, doenças infecciosas e entre outros.

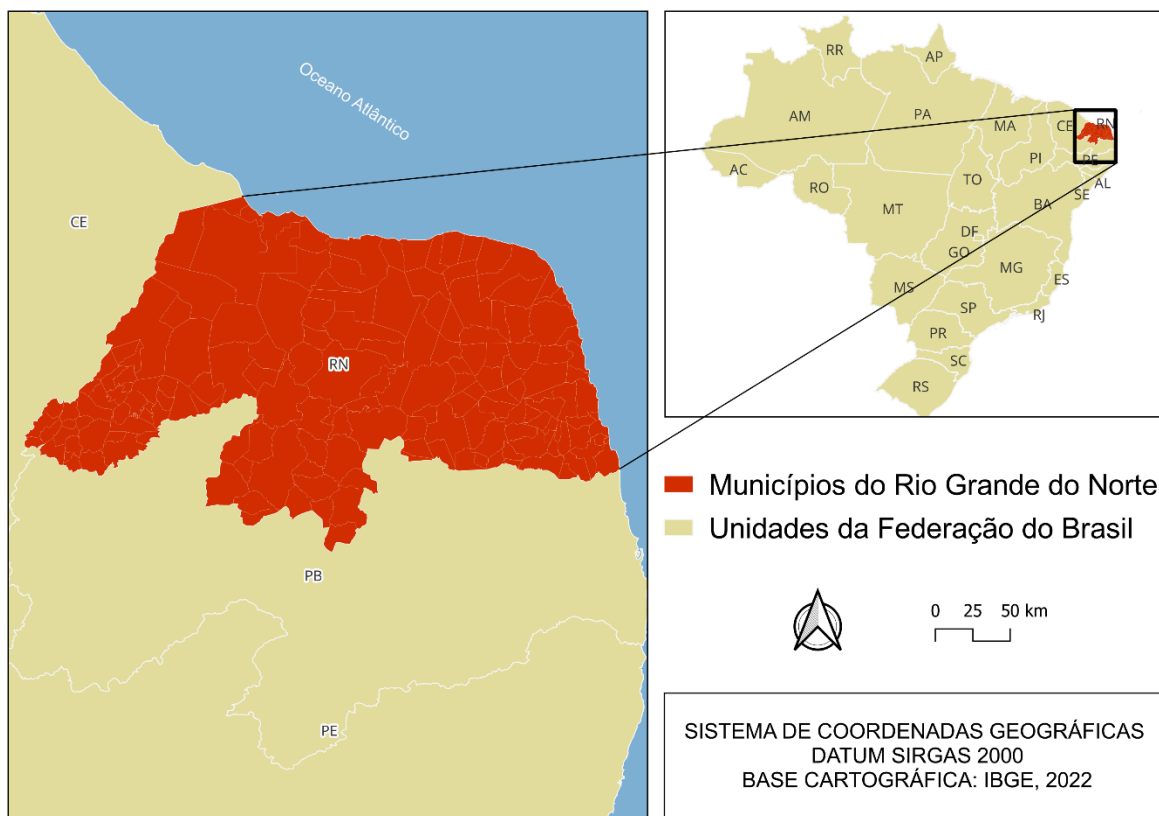
É sobretudo nas áreas urbanas que os efeitos das ações antrópicas sob o clima são intensificados, como bem apresentou Lombardo (1985) em seu trabalho sobre as ilhas de calor na cidade de São Paulo, isso ocorre devido a maior atuação dos setores que mais emitem os GEE nas cidades. Por sua vez, Ribeiro (2008) ressalta a vulnerabilidade da população mais pobre que em sua maioria vivem adensadas nas grandes metrópoles, e/ou em habitações inadequadas, estando mais expostas aos riscos. O mesmo relata o IPCC (2022), que ainda estima que o aumento da temperatura pode levar 122 milhões de pessoas à extrema pobreza até 2030 em decorrência do aumento dos alimentos e piora na saúde.

Pensando nisso, este trabalho utiliza uma série de dados de 16 anos (2003 a 2018) coletados do SISAM, programa do INPE, de médias diárias de precipitação e temperatura para todos os municípios do estado do Rio Grande do Norte, a fim de identificar uma possível variação desses elementos climáticos. A partir dos resultados constatou-se tendência de aumento da temperatura e queda dos índices de precipitação para a maioria dos municípios do estado. Pretende-se a partir dos resultados, mapear o fenômeno no estado e promover o diálogo sobre as consequências desta nova condição, com o intuito de propor medidas de mitigação e adaptação a este cenário emergente.

METODOLOGIA

A área desse estudo é o estado do Rio Grande do Norte localizado no Nordeste do Brasil (Figura 1). O estado possui uma área estimada de 52.809,599 km² com população residente estimada de 3.302.729 pessoas, dividido em 167 municípios incluindo Natal, sua capital (IBGE, 2022). Em relação ao seu clima, o estado possui dois distintos, clima subúmido à leste, influenciada pelas ondas de leste advindas do oceano atlântico do qual sua costa é banhada e, clima semiárido, no interior do estado, condicionada pela topografia da região (LUCENA; JÚNIOR e STEINKE, 2018).

Figura 1: Área de estudo.



Fonte: Autores.

Sua posição geográfica próximo a Linha do Equador contribui para altas temperaturas, com insolação anual constante e baixa amplitude térmica. Sua sazonalidade é condicionada, portanto, pelo regime de chuvas e a diversidade de paisagens e recursos naturais pelos diferentes índices de precipitação, resultando na presença de biomas como a mata atlântica e a caatinga.

Como procedimentos empregados, utilizou-se dos dados de reanálise do *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS) do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo - (ECMWF) com resolução de espacial de 12,5 Km ($0,125^\circ$) e resolução temporal de 6 h retirados do Sistema de Informações Ambientais (SISAM) em um período de 16 anos (2003 a 2018).

Foram utilizados dados de média diária de temperatura e precipitação para cada município do estado, cujas variações anuais foram calculadas a partir de um modelo aditivo generalizado ajustado para as variáveis de tempo. Estes, por sua vez, foram tratados através do software Rstudio, com a função GAM no pacote mgcv, que se mostraram adequados para capturar a relação complexa e não linear das variações de elementos climáticos (RAVINDRA et al., 2019 e CHENG et al., 2021).

Ainda, calculou-se intervalos de confiança para os resultados estimados aplicando uma análise *bootstrap*. Esta análise consistiu em um método de reamostragem recomendado quando os coeficientes são estimados dentro de um mesmo conjunto de dados de entrada e do modelo de regressão relacionado (HARDLE et al., 2003; POLITIS, 2003).

Como resultado, o método utilizado possibilitou obter a variação anual dos dados, sem deixar-se influenciar pela sazonalidade natural do clima do estado, extraíndo como produto apenas o coeficiente da variação anual da temperatura e precipitação, para cada município do Rio Grande do Norte no decorrer do tempo de análise.

Por fim, conseguiu-se estimar a tendência dos elementos climáticos e mapeá-lo através do software Qgis utilizando o método de classificação de graduação de quebras naturais (Breaks – Jenks) para identificar o padrão de tendência de variação espacialmente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos confirmaram as tendências já apontadas por Castelhana et al. (2022) sobre o aumento da temperatura e queda da precipitação para o Nordeste. Em relação a temperatura os registros mostram aumento anual da temperatura para pelo menos 155 municípios (93,67%), indicando aumento para todo o estado entre 0,01 e 0,02 °C/ano (Tabela 1).

Tabela 1: Percentagem dos municípios e sua variação anual da temperatura (°C).

TEMPERATURA		
Nº de municípios	Porcentagem (%)	Varição (°C)
10	5,99%	0,0 e 0,01
84	50,30%	0,01 e 0,02
64	38,32%	0,02 e 0,02
9	5,39%	NULL

Fonte: Autores.

Os conglomerados de municípios com índices de variação semelhantes, quando espacializados revelaram uma tendência geográfica (Figura 2). Ao analisar o mapa

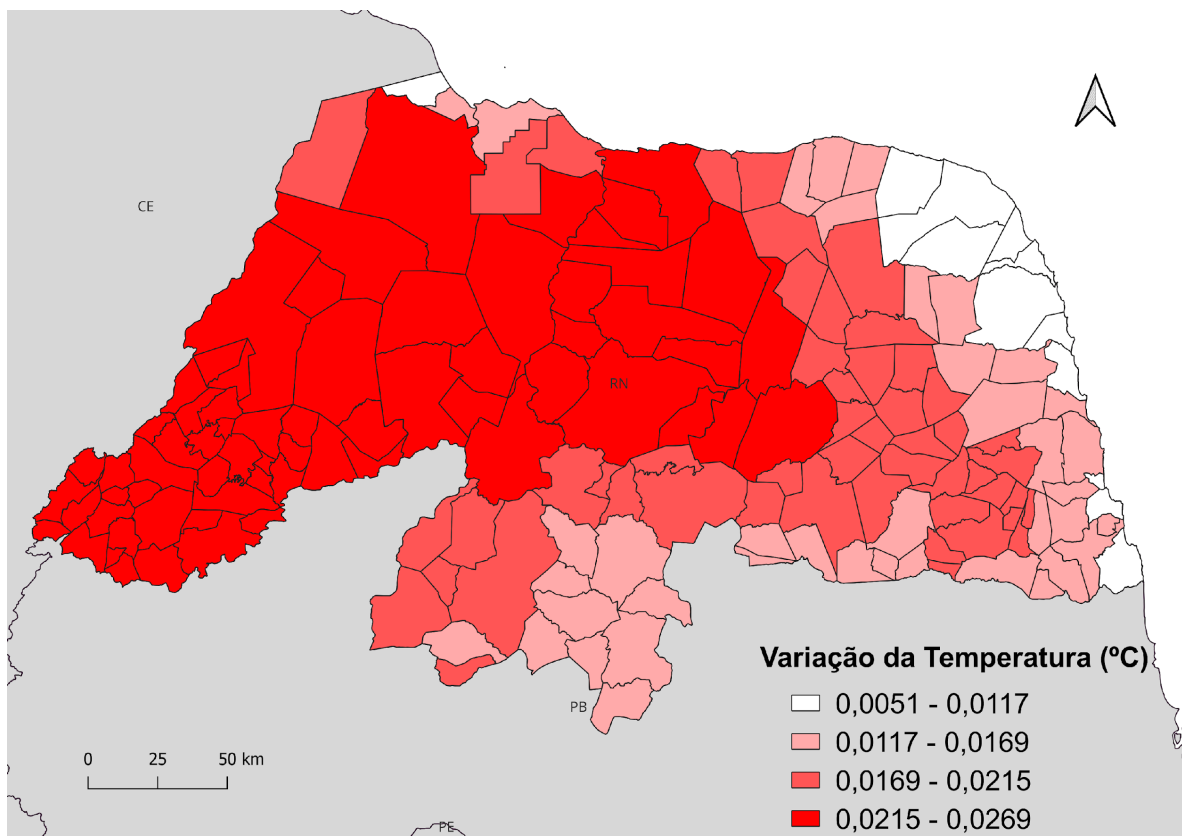
percebe-se claramente a maior variação de aumento da temperatura nos municípios do interior do estado mais distantes do litoral, onde predomina-se o clima semiárido.

Em contrapartida, quanto mais próximo do litoral são os municípios, a tendência é de apresentar menor aumento da temperatura, conforme aproxima-se do clima subúmido. Percebe-se, ainda, uma zona de transição de municípios com tonalidades mais claras (menor variação) para municípios com tons mais escuros (maior variação) conforme se avança para o interior do estado.

Inclusive, 11 dos 12 municípios que fazem parte dos 6,33% que mantêm a temperatura quase estável (0,0 e 0,01/ano) estão na costa litorânea ou muito próxima a ela, sendo estes: Baía Formosa, Ceará-Mirim, Extremoz, Maxaranguape, Natal, Rio do Fogo, Pureza, São Miguel do Gostoso, Senador Georgino Avelino, Tibal do Sul e Touros.

Isso permite enxergar uma possível influência do oceano na regulação da temperatura, bem como a atuação das ondas de leste e da topografia regional como condicionantes desse padrão (SANTOS e CASTELHANO, 2024; LUCENA; JÚNIOR e STEINKE, 2018).

Figura. 2: Mapa da variação anual média da temperatura (°C).



Fonte: Autores.

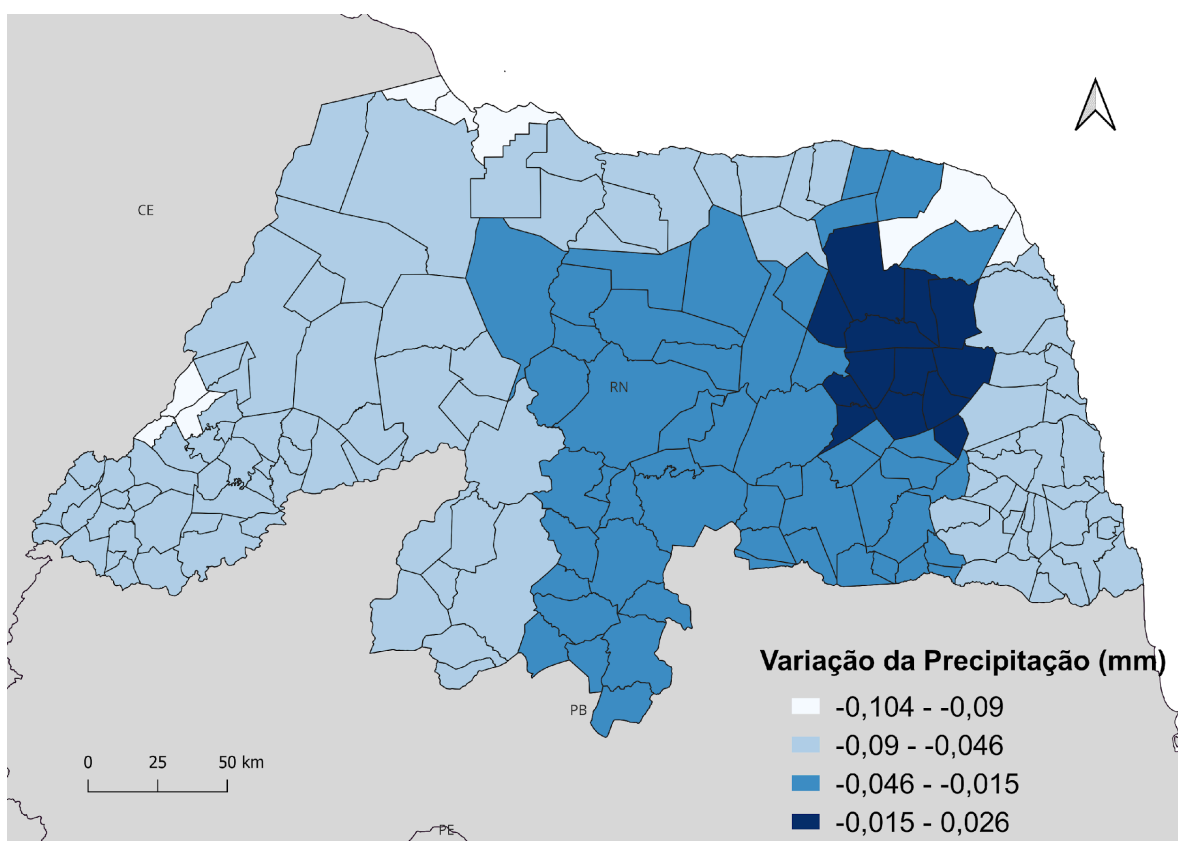
Já em relação à precipitação, os resultados apontam que em 92,22% dos municípios do estado manifestaram variação anual negativa entre 0,1 e 0,01 mm/ano, indicando queda da precipitação na maior parte do estado (Tabela 2). Ao analisar a espacialização da variação desses dados, observa-se que, diferentemente do cenário anterior, não existe um padrão linear condicionado pela longitude (Figura 3).

Tabela 2: Percentagem dos municípios e sua variação anual média da precipitação (mm).

PRECIPITAÇÃO		
Nº de municípios	Porcentagem m (%)	Varição (mm)
7	4,14%	-0,10 e -0,09
91	53,85%	-0,09 e -0,04
53	31,36%	-0,04 e -0,01
18	10,65%	-0,01 e 0,02

Fonte: Autores.

Figura 3: Mapa da variação anual média da precipitação (mm).



Fonte: Autores.

Todavia, um conglomerado de 13 municípios localizados entre as regiões leste e agreste potiguar apresentaram variação positiva da precipitação, estes são: Barcelona, Bento Fernandes, Bom Jesus, Ielmo Marinho, Jardim de Angicos, João Câmara, Santa Maria, Poço Branco, Riachuelo, Ruy Barbosa, São Paulo do Potengi, São Pedro e Itaipu. Apresentando uma tendência, nesse centro e arredores, de uma estabilização ou menor modificação do padrão climático no período de análise (2003 a 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, procurou-se evidenciar nesta pesquisa a alteração do padrão climático do Rio Grande do Norte confirmando a tendência de aumento da temperatura e queda da precipitação, sobretudo nas regiões do semiárido. A partir disso, pode-se inferir diferentes possíveis cenários de problemáticas ocasionados pela mudança do clima, desde a escassez dos recursos hídricos, agravamento da erosão costeira, aumento do desconforto térmico, piora da saúde pública e entre outros, emergindo a necessidade de efetuar medidas de mitigação e adaptação personalizadas para cada necessidade.

Embora os desafios impostos pelas limitações de análise devido a escala geográfica e temporal dos dados, espera-se contribuir com a pesquisa e o diálogo das consequências das mudanças climáticas e promover discussões acerca das medidas de resposta ao quadro atual em que o mundo contemporâneo vivencia.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Vulnerabilidade ambiental; Rio Grande do Norte; Multirrisco; Variabilidade climática.

REFERÊNCIAS

CASTELHANO, Francico Jablinski. **O Clima e as Cidades**. 1.ed. Curitiba: Intersaberes, 2020.

CASTELHANO, F. J. The impact of long-term weather changes on air quality in Brazil. **Atmospheric Environment**, 2022.

CHENG, B., MA, Y., FENG, F., ZHANG, Y., SHEN, J., WANG, H., GUO, Y., CHENG, Y., 2021. Influence of weather and air pollution on concentration change of PM_{2.5} using a generalized additive model and gradient boosting machine. *Atmos. Environ.* 255, 118437.

HARDLE, W., HOROWITZ, J., KREISS, J.-P., 2003. Bootstrap methods for time series. *Int. Stat. Rev./Rev. Int. Stat.* 71, 435–459.

LOMBARDO, M.A. **Ilhas de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985.

LUCENA, R.L; JÚNIOR, J.B.C; STEINK, E.T. Comportamento Hidroclimatológico do Estado do Rio Grande do Norte e do Município de Caicó. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, n. 3, 485-496, 2018.

OLIVEIRA, R. D. F; ALVES, J. W. S. **Mudanças Climáticas Globais no Estado de São Paulo**. 1.ed. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2012.

POLITIS, D.N., 2003 The impact of bootstrap methods on time series analysis *Stat. Sci.*, 18 (2003), pp. 219-23.

RAVINDRA, K., RATTAN, P., MOR, S., AGGARWAL, A.N., 2019. Generalized additive models: building evidence of air pollution, climate change and human health. *Environ. Int.* 132, 104987.

RIBEIRO, W. C. Impactos das Mudanças Climáticas em Cidades do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, n.27, p. 297-321, dezembro, 2008.

SANTOS, M. V. O; CASTELHANO, F. J. A Influência do Clima na Concentração de Ozônio Troposférico nos Municípios do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v.34, Jan. / Jun. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2022.

IPCC: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023.