

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM TEMPERATURAS AMENAS NO NORDESTE SETENTRIONAL BRASILEIRO

Rafaela Fernandes Lopes¹

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Natal, RN, Brasil



Rebecca Luna Lucena²

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Caicó, RN, Brasil



Raila Mariz Faria³

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Natal, RN, Brasil



Alíbia Deysi Guedes da Silva⁴

Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)
Feira de Santana, BA, Brasil



Ingrid Winne de Lima Fernandes⁵

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Natal, RN, Brasil



Emerson Galvani⁶

Universidade de São Paulo (USP)
São Paulo, SP, Brasil



Gabriel Victor de Araújo Pereira⁷

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Caicó, RN, Brasil



1. Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2966-8982>. E-mail: lopesrafaela009@gmail.com.
2. Doutora em Geografia, Professora da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó, RN, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4670-265X>. E-mail: rebeccaosvaldo@yahoo.com.br.
3. Doutoranda em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3049-2363>. E-mail: railafaria@gmail.com.
4. Doutoranda em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM), Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8476-8599>. E-mail: alibiadeysi.prof@gmail.com.
5. Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9343-1717>. E-mail: winne.fernandes.079@ufrn.edu.br.
6. Doutor em Agronomia, Professor da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8082-5963>. E-mail: egalvani@usp.br.
7. Graduando em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó, RN, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0038-2643>. E-mail: gabriel.pereira.702@ufrn.edu.br.

Enviado em 1 fev. 2025 | Aceito em 4 mar. 2026

Resumo: Essa pesquisa teve por objetivo principal identificar e mapear as áreas com temperaturas mais amenas (frescas) do Nordeste setentrional brasileiro. Para comparar dados de geoprocessamento com dados climáticos de superfície, foram selecionados municípios situados em altitudes superiores a 500 metros nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Modelos Digitais de Elevação (MDE) e a plataforma Google Earth Engine foram usados para mapear as cotas altimétricas e aplicar o gradiente térmico vertical, que ajusta a temperatura conforme a altitude. Os resultados mostram que as áreas serranas possuem temperaturas médias anuais $\sim 22,7^\circ\text{C}$ enquanto nas depressões adjacentes esse valor é pelo menos 4°C mais elevado. Foi confirmada uma correlação inversa entre altitude e temperatura por meio da interpolação de dados climáticos em áreas sem cobertura de estações climatológicas. A análise de dados de temperatura de superfície capturados pelos satélites LANDSAT validou essas estimativas, evidenciando a precisão das geotecnologias na representação espacial dos dados térmicos. O estudo ressalta a importância das áreas elevadas como refúgios ecológicos no semiárido, sugerindo que essas regiões possuem potencial para uso sustentável devido ao clima mais ameno e à maior disponibilidade hídrica em função da orografia.

Palavras-chave: Nordeste setentrional. Semiárido brasileiro. Áreas de exceção. Geoprocessamento.

IDENTIFYING AREAS WITH MILD TEMPERATURES IN NORTH-EASTERN BRAZIL

Abstract: The main objective of this research was to identify and map the areas with the mildest (coolest) temperatures in the north-east of Brazil. In order to compare geoprocessing data with surface climate data, municipalities located at altitudes above 500 meters in the states of Ceará, Paraíba, Pernambuco and Rio Grande do Norte were selected. Digital Elevation Models (DEM) and the Google Earth Engine platform were used to map the altimetric elevations and apply the vertical thermal gradient, which adjusts the temperature according to altitude. The results show that the mountainous areas have average annual temperatures of $\sim 22.7^\circ\text{C}$ while in the adjacent depressions this value is at least 4°C higher. An inverse correlation between altitude and temperature was confirmed through the interpolation of climate data in areas without climatological station coverage. Analysis of surface temperature data captured by LANDSAT satellites validated these estimates, demonstrating the accuracy of geotechnologies in the spatial representation of thermal data. The study highlights the importance of elevated areas as ecological refuges in the semi-arid region, suggesting that these regions have potential for sustainable use due to their milder climate and greater water availability as a result of their orography.

Keywords: Northern Northeast. Brazilian semi-arid region. Areas of exception. Geoprocessing.

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CON TEMPERATURAS SUAVES EN EL NORDESTE DE BRASIL

Resumen: El principal objetivo de esta investigación fue identificar y cartografiar las zonas con las temperaturas más suaves (frías) del nordeste de Brasil. Para comparar los datos de geoprocésamiento con los datos climáticos de superficie, se seleccionaron municipios situados a altitudes superiores a 500 metros en los estados de Ceará, Paraíba, Pernambuco y Rio Grande do Norte. Se utilizaron Modelos Digitales de Elevación (MDE) y la plataforma Google Earth Engine para mapear las elevaciones altimétricas y aplicar el gradiente térmico vertical, que ajusta la temperatura en función de la altitud. Los resultados muestran que las zonas montañosas tienen temperaturas medias anuales de $\sim 22,7^\circ\text{C}$ mientras que en las depresiones adyacentes este valor es al menos 4°C superior. Se confirmó la existencia de una correlación inversa entre altitud y temperatura mediante la interpolación de datos climáticos en zonas sin cobertura de estaciones climatológicas. El análisis de los datos de temperatura superficial captados por los satélites LANDSAT validó estas estimaciones, demostrando la precisión de las geotecnologías en la representación espacial de los datos térmicos. El estudio destaca la importancia de las zonas elevadas como refugios ecológicos en la región semiárida, sugiriendo que estas regiones tienen potencial para un uso sostenible debido a su clima más suave y a la mayor disponibilidad de agua como consecuencia de su orografía.

Palabras-clave: Nordeste Norte. Región semiárida brasileña. Áreas de excepción. Geoprocésamiento.



Introdução

O Nordeste do Brasil se constitui como uma região bastante heterogênea no tocante às condições ambientais e socioeconômicas. Grande parte do Nordeste brasileiro é formado pelos espaços semiáridos, apresentando características marcantes como pluviosidade anual inferior a 800 milímetros, relevo suave ondulado, altitudes predominantemente inferiores aos 400 metros (acima do nível do mar), solos rasos, com pouco ou intermediário desenvolvimento, que propicia uma vegetação natural definida por Caatinga (Ab'Sáber, 2003; Sá; Silva, 2010; Lichston *et al.*, 2023). Essa região do Brasil também apresenta elevadas taxas de evapotranspiração (Cabral Júnior; Bezerra, 2018).

A região semiárida brasileira é uma das áreas semiáridas mais quentes do globo. O sistema climático regional envolve uma fortíssima entrada de energia solar que gera elevada temperatura, determinada por fatores geográficos do clima (Ab'Sáber, 1974; Lucena, 2023). Um fator importante é

a latitude, uma vez que a região se encontra entre 1° e 18° de Latitude Sul (SUDENE, 2021). As regiões localizadas em baixas latitudes tendem a apresentar as maiores temperaturas devido à intensa interação entre a energia solar e a superfície terrestre. De modo geral, esses valores só serão modificados por influência de outros fatores geográficos, especialmente a altitude, que é quase tão influente quanto a latitude na influência térmica (Fritzsons; Wrege; Mantovani, 2015).

Fritzsons, Mantovani e Aguiar (2008) ressaltam que a temperatura do ar de um local tem o seu gradiente térmico influenciado pela variação altimétrica. Além disso, Marshall *et al.* (2007) apontam que o gradiente térmico se diferencia em cada local e ainda pode ser influenciado pelo balanço de energia, cobertura superficial, altitude e latitude. Conforme Mendonça e Danni-Oliveira (2007) descrevem: “o relevo é um fator que diversifica os padrões climatológicos em razão da sua variação de altitude, forma e orientação de suas vertentes. Considerando dois lugares de mesma latitude, porém, com altitudes diferentes, aquele que estiver mais elevado terá sua temperatura diminuída na razão média de 0,6 °C para cada 100 m de diferença do local mais baixo” (p. 46). Como apontam Ynoue *et al.* (2017), a temperatura na troposfera diminui com a altitude por conta da redução da densidade da atmosfera, ou seja, com o aumento da altura há um menor número de moléculas de gases.

Como a região Nordeste do Brasil apresenta altitudes baixas, com o predomínio de planícies litorâneas, tabuleiros e depressões sertanejas, eis o motivo principal para o império das altas temperaturas anuais (Ab’Sáber, 2003; Lucena, 2023). Contudo, nas áreas de maior altitude, a elevação do relevo favorece modificações importantes nos elementos do clima, especialmente na temperatura e na umidade, em função da atuação de processos orográficos. A precipitação orográfica, também denominada chuva de relevo, ocorre quando uma massa de ar úmida é forçada a ascender ao encontrar um obstáculo topográfico, sofrendo resfriamento adiabático em maiores altitudes, o que favorece a condensação do vapor d’água, a formação de nebulosidade e, potencialmente, a ocorrência de precipitação. Esse tipo de processo é típico de áreas serranas e pode resultar em maiores totais pluviométricos em função da altitude, sendo sua ocorrência e intensidade condicionadas pela orientação das vertentes em relação aos ventos predominantes e pelas condições de umidade atmosférica (Milanesi; Galvani, 2009; Lucena *et al.*, 2024).

Entretanto, no contexto do Semiárido, existem áreas elevadas que se distinguem das características climáticas predominantes e a denominação desses sub-espacos apresenta variações como “serras”, “brejos”, “matas”, etc (Souza; Oliveira, 2008; Lucena *et al.*, 2022). Os brejos e serras são caracterizados por Reis (1976) como espacos que apresentam um balanço hídrico duplamente beneficiado, pois a altitude e a condensação do vapor d’água presente no ar modificam o regime térmico, provocando considerável aumento da nebulosidade, o que acarreta a diminuição da evapotranspiração potencial. Assim, considerando as especificidades climáticas presentes, podemos classificá-los como áreas de exceção em termos mesoclimáticos (Medeiros, 2016). A definição de áreas de altitude no Brasil ainda é muito confusa (Aquino; Netto; Assis, 2018) e tão pouco se aplica ao semiárido brasileiro, região onde as cotas altimétricas dificilmente ultrapassam os 1000 metros.

Dessa forma, as áreas elevadas do Nordeste possuem grande importância climática e ambiental no contexto da semiaridez e do bioma Caatinga, sabendo-se que existe uma limitada rede de estações de superfície nessas áreas serranas e brejos de altitude, nosso objetivo principal foi identificar as áreas elevadas do semiárido do Nordeste setentrional e as temperaturas a elas associadas, através de dados de estações de superfície e do uso de geotecnologias.

Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa foi testar se, na ausência de dados térmicos de estações meteorológicas, ferramentas de geoprocessamento em ambiente de Sistemas de

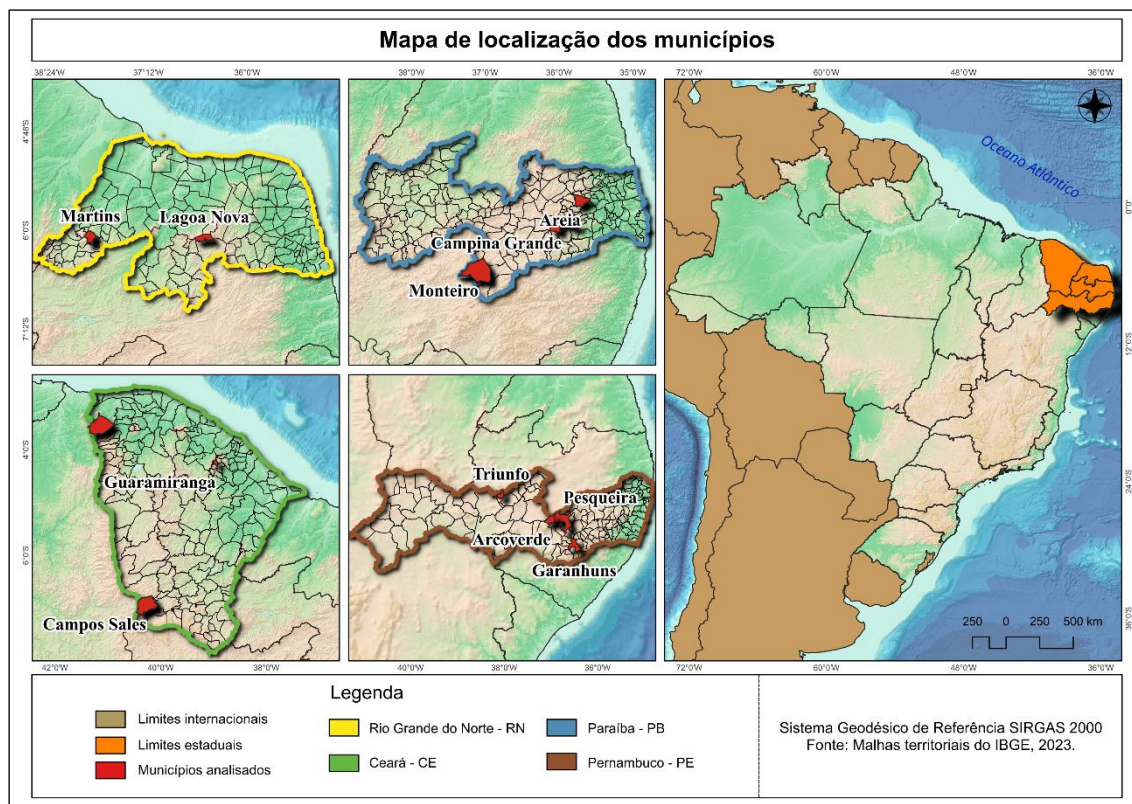
Informação Geográfica (SIG), através do uso de técnicas para extração de temperatura de superfície e da aplicação do gradiente vertical de temperatura por meio da álgebra de mapas, podem auxiliar na geração de dados de temperatura do ar para a região em apreço.

Área de estudo

A área de estudo deste trabalho compreende o setor setentrional do Nordeste do Brasil, que abrange os estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. A área total analisada é de aproximadamente 360.000 km² composta pelos biomas Caatinga, Mata Atlântica e áreas de transição (Ab'Sáber, 2003).

Foram selecionados municípios situados em altitudes superiores a 500 metros que possuem estações meteorológicas, com o objetivo de realizar uma análise comparativa da temperatura em relação à altitude. No entanto, há exceção para os municípios de Martins e Lagoa Nova, ambos localizados no estado do Rio Grande do Norte, que foram incluídos a partir de dados do DCA/UFCG, uma vez que nenhuma das estações meteorológicas desse estado está situada em áreas acima de 325 m de altitude (Faria; Lucena; Souza, 2022). Os municípios escolhidos foram: Campo Sales e Guaramiranga, no Ceará; Areia, Monteiro e Campina Grande, na Paraíba; Arcoverde, Pesqueira, Garanhuns e Triunfo, em Pernambuco; e Lagoa Nova e Martins, no Rio Grande do Norte. Para situar a área de estudo, dispomos a seguir um mapa de localização (Figura 1) e uma lista dos municípios com suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes (Tabela 1).

Figura 1 - Mapa de localização dos municípios selecionados



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 1 - Estados da federação, coordenadas geográficas e altitude dos municípios estudados

UF	Município	Coordenadas geográficas	Altitude (m)
CE	Campos Sales	7° 44' S; 40° 23' O	560
CE	Guaramiranga	4° 15' S; 38° 56' O	900
PB	Areia	6° 57' S; 35° 42' O	608
PB	Monteiro	7° 53' S; 37° 73' O	604
PB	Campina Grande	7° 13' S; 35° 53' O	540
PE	Arcoverde	8° 25' S; 37° 33' O	671
PE	Pesqueira	8° 21' S; 36° 41' O	650
PE	Garanhuns	8° 53' S; 36° 29' O	869
PE	Triunfo	7° 49' S; 38° 64' O	1034
RN	Lagoa Nova	6° 58' S; 36° 27' O	693
RN	Martins	6° 57' S; 37° 54' O	725

Fonte: INMET, 2024.

Metodologia

Coleta de dados climáticos

Como etapa inicial dos processos metodológicos, foram coletados dados mensais de temperatura média, máxima e mínima obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024), referentes à normal climatológica de 1981-2010, devido à indisponibilidade de dados na normal mais recente (1991-2020). Para os municípios de Lagoa Nova e Martins, foi necessário recorrer aos dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG (DCA) para a obtenção das médias (1911-1990), dispondo-se apenas dos dados de temperatura média. Também foram coletadas informações das temperaturas médias das estações localizadas mais próximas aos municípios escolhidos, para fins comparativos, como será explicado no item técnicas de geoprocessamento.

Extração e análise de dados climáticos

Como o número de estações climatológicas com séries históricas iguais ou superiores a 30 anos em áreas elevadas é muito escasso, realizou-se a obtenção de dados de temperatura de superfície (LST) para o período de 1982 a 2020 (período compatível com a normal climatológica utilizada nessa pesquisa). Para a extração da LST, considerou-se a banda termal dos sensores termiais dos satélites LANDSAT-4 e LANDSAT-5 da coleção e nível 2 (LANDSAT/LT04/C02/T1_L2 e LANDSAT/LT05/C02/T1_L2). Os dados obtidos para a área de estudo correspondem a registros entre 11h29 e 12h53 pm no horário local. Na ferramenta Google Earth Engine, tais produtos já possuem a reflectância da superfície corrigida e os dados da temperatura da superfície ortorretificados, já disponíveis em graus Kelvin. Assim, aplicou-se filtro do valor de escala e *offset*, recomendados pela documentação (EROS, 2020), além da aplicação de máscara de nuvens e sombras, da seleção de

imagens com cobertura de nuvem inferior a 70%, redução pela média dos pixels e subtração dos valores por 273.15. O produto final corresponde, portanto, a uma imagem síntese gerada pela composição média pixel-a-pixel do período estudado da temperatura de superfície convertida para graus Celsius.

Após a extração de dados de temperatura de superfície, considerando a altitude das estações e os dados climáticos coletados, análises de correlação (Pearson e Spearman) e análise de tendência linear por regressão foram realizadas para comparar os valores de temperatura e sua associação com a altitude conforme metodologia utilizada por Baratto *et al.* (2022). Essas análises incluíram dados de altitude e valores de temperatura média, máximas médias e mínimas médias e dados de LST. O intervalo de confiança considerado foi de 95%. Essas análises foram realizadas nos softwares Microsoft Excel e Jamovi 2.3.28, onde além dos cálculos, foram também gerados gráficos e tabelas.

Técnicas de Geoprocessamento

Para elaboração do mapa altimétrico, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) compreendendo os estados PE, PB, RN e CE, proveniente do *The Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) disponível na plataforma de computação em nuvem *Google Earth Engine* (GEE). A cota altimétrica de 500 metros com relação ao nível médio do mar foi estabelecida como limite mínimo para delimitação de áreas serranas e brejos de altitude do semiárido. Essa cota se baseou na produção científica disponível sobre o tema (Ab'Sáber, 2003; Souza; Oliveira, 2008; Rodrigues *et al.*, 2009; Medeiros; Cestaro, 2019; Lucena *et al.*, 2022).

Com o mapa altimétrico elaborado, aplicou-se, a partir da extração das diferentes cotas, o coeficiente de 0,6 °C na temperatura do ar para cada 100 m de altitude (Ynoue *et al.*, 2017). O coeficiente vertical de temperatura possui razão úmida e seca, sendo o valor de 0,6 °C um valor médio considerado, ou seja, para cada 100 metros de elevação, considerou-se um declínio de 0,6 °C. A equação consistiu inicialmente em calcular a variável temperatura do ar considerando o gradiente vertical adiabático e um mapa do gradiente térmico médio foi elaborado através da álgebra de mapas (Faria; Lucena; Souza, 2022).

Após a geração do coeficiente de altitude, desenvolveu-se à interpolação dos valores das temperaturas médias coletadas nas estações climatológicas, já corrigidos pela influência do coeficiente de altitude. Em seguida, foi aplicado o processo de álgebra de mapas na calculadora *raster*. Esse procedimento possibilitou a interpolação da temperatura do ar, considerando os dados extraídos das estações menos o coeficiente de altitude gerado, resultando em valores ajustados de temperatura do ar para áreas não monitoradas, levando em conta a influência do fator geográfico altitude na temperatura do ar (Faria; Lucena; Souza, 2022). A álgebra de mapas foi realizada na calculadora *raster* do Software *QGIS* com objetivo de indicar um conjunto de procedimentos de análise espacial que gera novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas (Tomlin, 1994; Barbosa *et al.*, 1998; Pina; Santos, 2000). Um mapa final foi gerando considerando o procedimento acima descrito.

Resultados e discussão

Análise da relação altitude e temperatura

Com base nos dados de temperatura média, máxima e mínima das estações climatológicas das áreas elevadas do Nordeste setentrional, observa-se inicialmente a presença de menores temperaturas em comparação às regiões das depressões sertanejas adjacentes, onde considerando a mesma série histórica, Lucena *et al.* (2024), encontraram valores de temperaturas médias anuais de 27,3 °C para as áreas deprimidas, enquanto as temperaturas médias das estações aqui levantadas foi de 22,7 °C, apresentando uma diferença de 4,6 °C. Conforme Ab'Sáber (2003), nas depressões interplanálticas e intermontanas do semiárido brasileiro mais de 75% da região apresenta elevada temperatura média anual entre 27 °C e 30 °C e temperaturas máximas entre 35 °C e 38 °C. Contrariamente, os municípios incluídos nesta pesquisa, localizados nas áreas serranas, revelam um intervalo de temperaturas médias que varia entre 20,9 °C e 25 °C, com o valor mais alto registrado em Campo Sales, no Ceará. As temperaturas mínimas nas áreas elevadas estão entre 17,2 °C e 20,2 °C, enquanto as temperaturas máximas variam de 25,5 °C a 31,1 °C, como pode ser visto na Tabela 2.

A Tabela 2 apresenta uma visão detalhada das informações de temperatura coletadas nas estações meteorológicas, bem como da média das temperaturas estimadas por satélite entre 1982 e 2010. Ressalta-se a boa concordância da temperatura aparente da superfície (LST) com os dados de temperatura média observados nas estações ($R = 0,55$ e $Rho = 0,54$), entretanto, há desvios positivos, como em Monteiro/PB e Arcoverde/PE; e desvios negativos, como Areia/PB e Garanhuns/PE. A LST está diretamente relacionada aos tipos de cobertura espacial, especialmente a vegetação, urbanização e topografia, o que pode contribuir para as discrepâncias encontradas (Forooshani *et al.*, 2023). Porém, a análise de correlação apresentou valores mais elevados e estatisticamente significativos entre as temperaturas médias máximas e as LST ($R = 0,77$; $Rho = 0,75$; $p\text{-valor} < 0,05$), fato que pode estar também associado ao horário da passagem do satélite (Nascimento *et al.*, 2022).

As Tabelas 2 e 3 apresentam as medições diretas, as estimativas e a correlação entre essas variáveis, o que facilita a análise das variações térmicas na região considerando as diferentes cotas altimétricas.

Tabela 2 - Temperatura do ar média, média da mínima, média da máxima, média estimada via sensores orbitais e a diferença detectada entre a temperatura média e a LST

Municípios (altitude)	Temp. média	Temp. mínima	Temp. máxima	LST	Diferença Estações x LST
Campos Sales (560)	25	20,1	31,1	25,2	0,2
Guaramiranga (900)	20,9	18,4	25,5	20	-0,9
Areia (608)	22,5	19,6	27,3	17,7	-4,8
Monteiro (604)	24,4	19	31	29,6	5,2
Campina Grande (540)	23,5	20,2	28,8	22,4	-1,1
Arcoverde (671)	23,1	18,4	29,5	29,3	6,2
Pesqueira (650)	22,8	18,7	29,3	26,3	3,5
Garanhuns (869)	21,1	17,7	26,4	19,4	-1,7
Triunfo (1034)	21,4	17,2	26,8	23,7	2,3
Lagoa Nova (693)	21,8	-	-	24,5	2,7
Martins (725)	23,2	-	-	22,5	-0,7
Média (714)	22,7	18,8	28,4	23,7	1,0

Fonte: INMET; DCA e imagem LANDSAT.

Tabela 3 - Matriz de correlações entre as variáveis altitude, temperatura do ar média, média da mínima, média da máxima e média estimada via sensores orbitais.

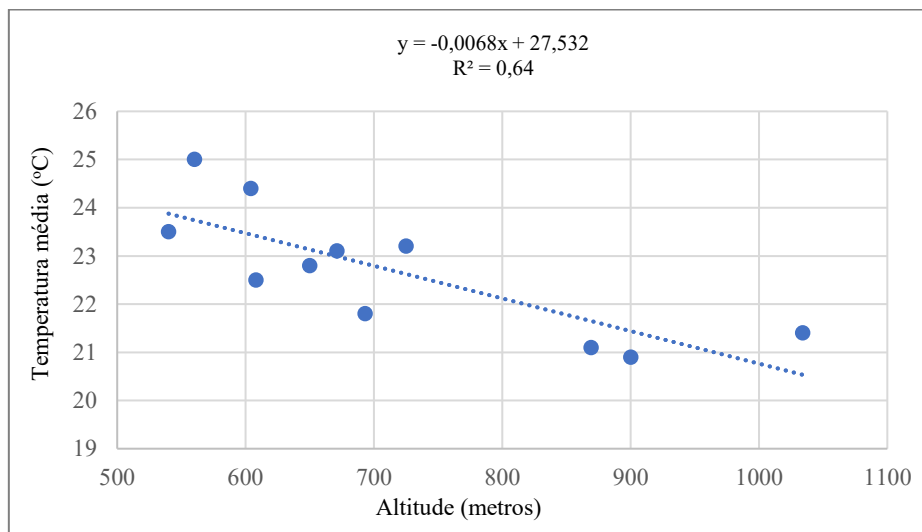
		Altitude		Temperatura média	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Temperatura superfície
Altitude	R de Pearson	—					
	Rho de Spearman	—					
Temperatura média	R de Pearson	-	**	—			
	Rho de Spearman	0.799	**	—			
Temperatura máxima	R de Pearson	-	*	0.960	***	—	
	Rho de Spearman	0.754	*	0.950	***	—	
Temperatura mínima	R de Pearson	-	**	0.736	*	0.551	—
	Rho de Spearman	0.895	**	0.711	*	0.552	—
Temperatura superfície	R de Pearson	-		0.558		0.777	*
	Rho de Spearman	0.302		0.545		0.750	*

Nota. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Os dados apresentados na Tabela 3 evidenciam a relação entre altitude e temperatura, e os dados apresentados nas Figuras 2 e 3 mostram uma tendência de redução das temperaturas com o aumento da altitude. No entanto, essa relação não é estritamente linear, pois municípios com altitudes próximas podem apresentar pequenas variações nesses valores. Um exemplo disso é observado em Triunfo e Garanhuns, em Pernambuco, que registraram temperaturas médias de 21,4 °C e 21,1 °C, respectivamente, apesar de Triunfo ter uma altitude de 1.034 metros e Garanhuns de 869 metros. Essa discrepância ocorre devido à influência de outros fatores geográficos, como a proximidade do oceano e a maior ocorrência de processos orográficos, que favorecem maior umidade e nebulosidade em áreas serranas, sobretudo em vertentes expostas aos ventos dominantes, contribuindo para a modulação das temperaturas locais (Lucena *et al.*, 2024).

No entanto, em detrimento dessas pequenas variações, com relação ao fator térmico, de modo geral, a tendência de diminuição da temperatura com o aumento da altitude é observada nos estados do Nordeste setentrional, onde os municípios mais altos apresentam, de fato, os menores valores de temperatura média. A Figura 2 evidencia essa tendência inversamente proporcional entre altitude e temperatura do ar.

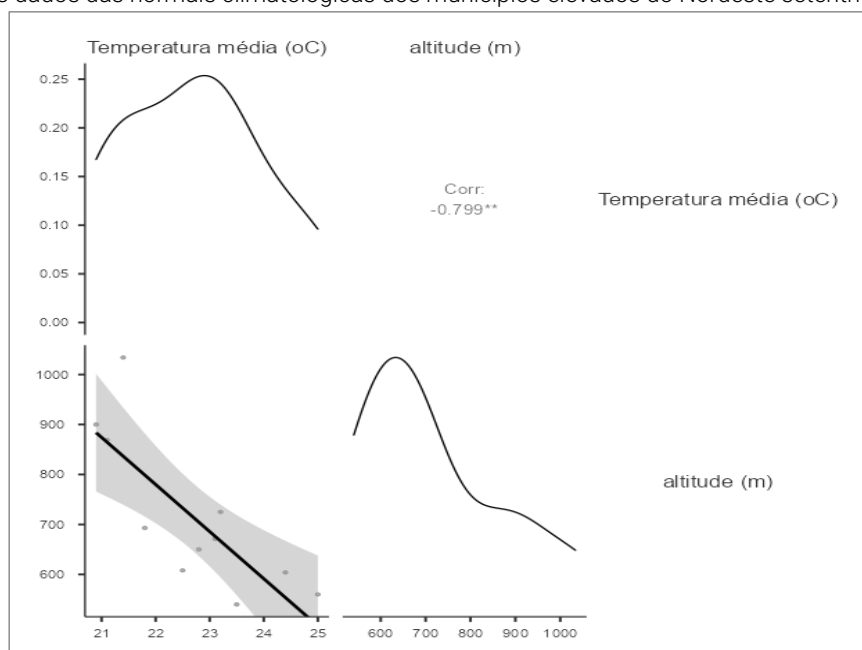
Figura 2 - Relação entre a temperatura média do ar e a altitude das estações



Fonte: Elaborado pelos autores.

Aplicando-se o coeficiente de correlação, os resultados encontrados para os valores médios de temperatura do ar e sua relação com a altitude foram para Pearson: $R = 0,799$ e para Spearman: $Rho = 0,818$, considerando um intervalo de confiança de 95% (ver Tabela 3 e Figura 3). Esse comportamento destaca a influência significativa da altitude sobre o regime térmico da região, demonstrando a importância desse fator geográfico na modulação das temperaturas locais.

Figura 3 - Gráficos dos valores de temperatura média versus altitude, considerando os dados das normais climatológicas dos municípios elevados do Nordeste setentrional



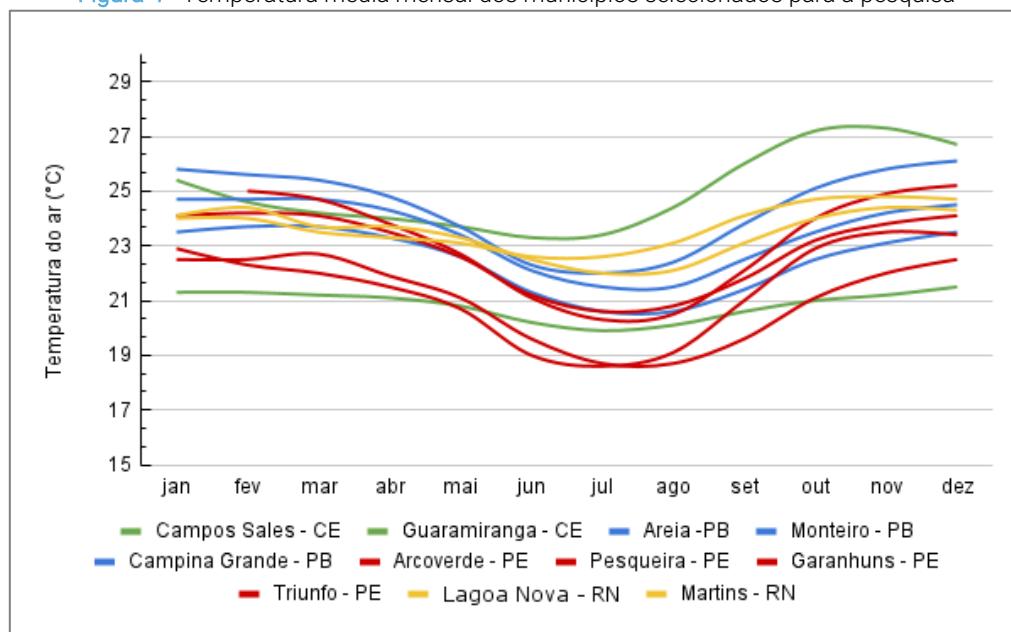
Fonte: Elaborado pelos autores.

Especialmente, os valores de temperatura mínima destacaram essa relação de forma ainda mais evidente, com o menor valor registrado no município de maior altitude, conforme demonstrado

nos dados das Tabelas 2 e 3, onde a relação entre altitude e temperatura mínima apresentou $R = 0,89$ ($p < 0,01$) e $Rho = 0,95$ ($p < 0,001$).

A Figura 4 apresenta as variações dessas temperaturas ao longo do ano, considerando as médias mensais e revela a variabilidade das temperaturas durante o período analisado, registrando valores entre 18 e 28 °C. As curvas das linhas indicam uma queda nas temperaturas durante o inverno austral, em junho, julho e agosto especificamente para todos os municípios, seguida por um aumento em setembro, indicando que o inverno é o período com as menores temperaturas do ano.

Figura 4 - Temperatura média mensal dos municípios selecionados para a pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os valores encontrados mostram que o município de Guaramiranga se destaca no gráfico por sua linha quase reta, caracterizando estabilidade térmica ao longo do ano, com médias que permanecem entre 20 e 22°C (baixa amplitude). Embora não seja o município de maior altitude (sendo este o segundo), Guaramiranga registra as temperaturas médias e máximas menores, mantendo uma constância considerável durante o ano em comparação com os outros locais. É importante destacar que Guaramiranga, em função da sua proximidade com o oceano e por estar diretamente exposto aos ventos alísios, possui elevada umidade (Albano e Girão, 2013), o que provavelmente colabora para a baixa amplitude térmica sazonal.

Estimativa da temperatura do ar

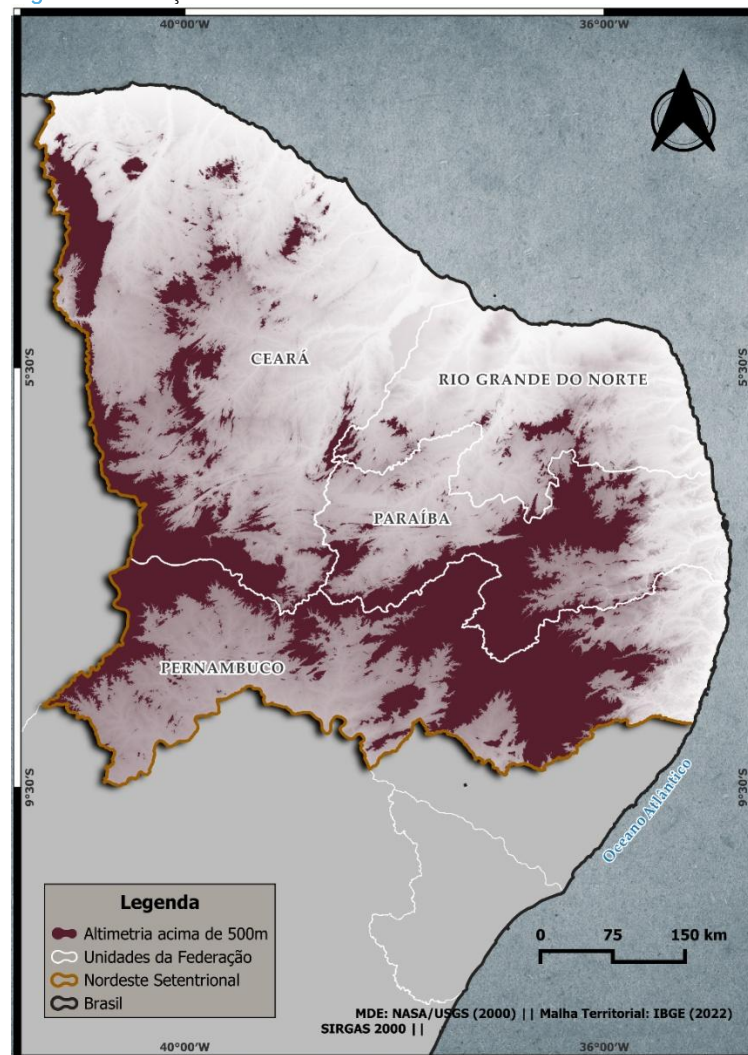
Pesquisas realizadas no semiárido brasileiro indicam que as transformações climáticas e geoambientais se tornam evidentes a partir de cotas altimétricas superiores a 500 metros (Ab'Sáber, 2003; Souza; Oliveira, 2008; Rodrigues *et al.*, 2009; Medeiros; Cestaro, 2019; Lucena *et al.*, 2022; Junior; Caracristi, 2022). Essas pesquisas evidenciam que, em altitudes mais elevadas, ocorrem modificações significativas nos padrões climáticos e ambientais, com impactos diretos sobre a vegetação, o uso da terra, a disponibilidade de recursos hídricos e a biodiversidade. A cota altimétrica de 500 metros parece atuar como um divisor ecológico, onde as características típicas do semiárido,

como a vegetação de caatinga e as condições de aridez, começam a se alterar, dando lugar a microclimas mais amenos e ecossistemas diferenciados.

Isso ocorre devido ao aumento da umidade relativa do ar, à redução das temperaturas médias e à maior ocorrência de precipitações, que, em conjunto, promovem uma maior diversidade ecológica e possibilidades de uso do solo para a agricultura e outros fins. Os Modelos Digitais de Elevação (MDE), como os utilizados na elaboração da Figura 5, permitem identificar claramente os polígonos que representam essas áreas elevadas no Nordeste setentrional. As altitudes mais elevadas influenciam não apenas o clima local, mas também a distribuição da vegetação, que se adapta a condições mais favoráveis em termos de umidade e temperatura.

Além disso, essas áreas tendem a apresentar características ambientais que as tornam importantes do ponto de vista ecológico e de manejo sustentável. Estudos como os de Ab'Sáber (2003) e Souza e Oliveira (2008) indicam que as áreas acima de 500 metros podem funcionar como refúgios ecológicos, abrigando espécies que não prosperam nas áreas mais secas e quentes do semiárido. Rodrigues *et al.* (2009) e Medeiros e Cestaro (2019) apontam que essas regiões podem ter maior estabilidade climática, o que pode ser vantajoso para a agricultura e outras atividades econômicas. Na Figura 5, destacam-se os polígonos com cota altimétrica superior aos 500 metros no Nordeste setentrional, extraídos através de MDE.

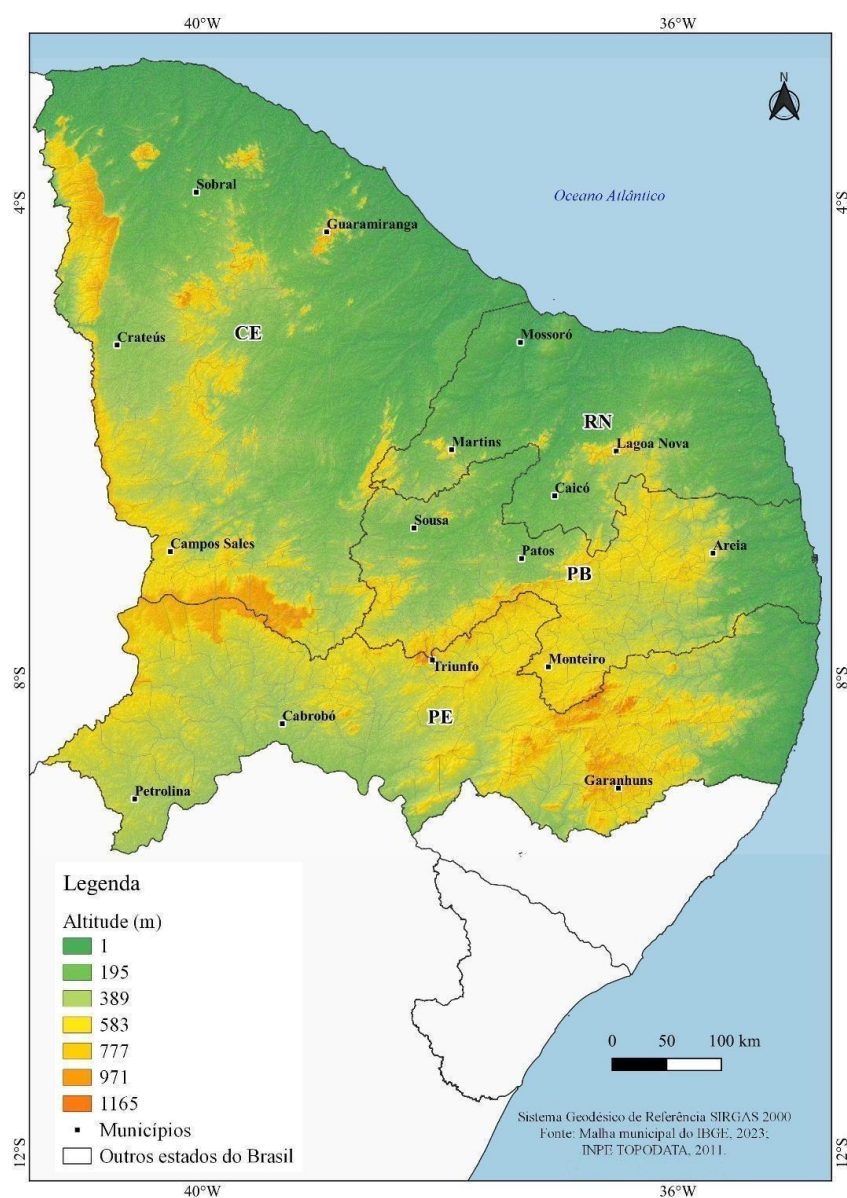
Figura 5 - Extração da cota altimétrica $\geq 500\text{m}$ no Nordeste setentrional



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 6 apresenta um mapa de altimetria detalhada que abrange a região Nordeste do Brasil, destacando diferentes cotas altimétricas que variam de 1 a 1165 metros. Este mapa foi elaborado a partir da extração de Modelos Digitais de Elevação (MDE), utilizando a projeção geográfica da América do Sul. As áreas em verde escuro representam as altitudes mais baixas, enquanto as em tons alaranjados e vermelhos mostram as regiões de maior altitude.

Figura 6 - Extração da altimetria através de MDE para o Nordeste setentrional



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 6 é possível observar que a região do Nordeste setentrional é predominantemente composta por áreas de baixa altitude, em sua maioria apresenta tons esverdeados, correspondendo a altitudes entre 1 e 389 metros. O relevo da área é representado, em sua grande parte, por terrenos baixos da Depressão Sertaneja, apresentando um aspecto plano-ondulado e cotas altimétricas variando de 150 a 300 metros (Costa, 2006). Ab'Sáber (1999) define as depressões como:

[...] espaços semiáridos mais típicos e representativos, do ponto de vista físico e ecológico, do domínio semiárido nordestino. Todas elas, por sua vez, são heranças de uma longa história fisiográfica, comportando-se como remanescentes de uma vasta rede de planícies de erosão, elaborada entre fins do Terciário e início do Quaternário. Essas aplainações imensas, desenvolvidas entre chapadas e maciços antigos, são como que o paleoespaço dos sertões secos. (pág. 15)

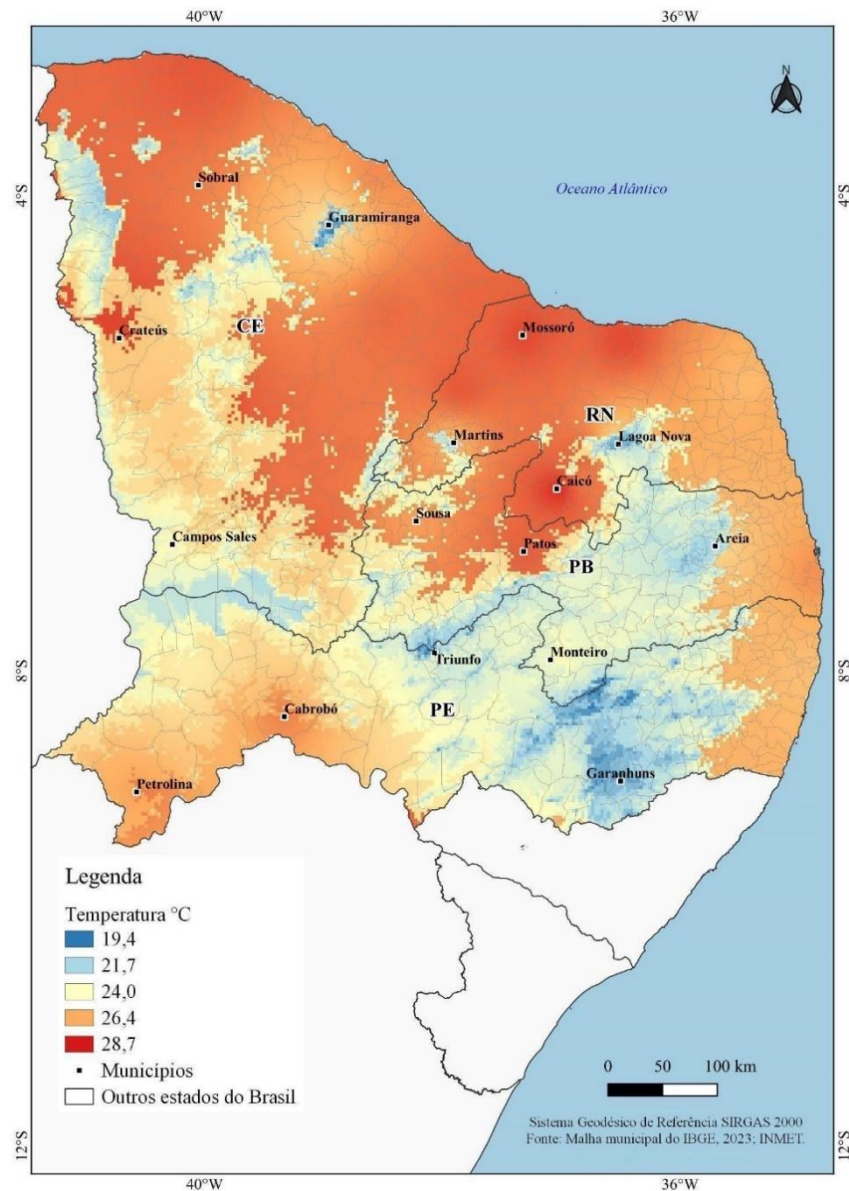
Nesse contexto, as áreas mais elevadas se destacam como espaços contrastantes em relação ao seu entorno. Na Figura 6 ocorre uma distribuição dessas áreas na região, em tons alaranjados a vermelho indica extensões com altitudes elevadas, percebe-se que estão concentradas principalmente em regiões serranas e chapadas, algumas áreas elevadas destacadas incluem Chapada do Araripe, Serra de Baturité, Serra do Martins, e outras serras e chapadas do interior. É possível observar uma fragmentação do relevo: as áreas elevadas não formam um bloco contínuo, mas exibem um padrão de serras e planaltos isolados, evidenciando a complexidade da região. Embora essas cotas estejam presentes, o Nordeste não apresenta altitudes tão elevadas quanto outras partes do Brasil.

Observa-se que há um grande agrupamento dessas áreas de altitude no estado de Pernambuco, formando uma mancha em tons alaranjados destacada na Figura 6. Entre os municípios analisados, Triunfo, com 1.034 metros, é o município de maior altitude na região, conforme apresentado na Tabela 1, mesmo quando se considera os municípios que não possuem estação meteorológica. Além do estado de Pernambuco, que se destaca por seu extenso agrupamento de áreas elevadas, outros estados do Nordeste também apresentam altitudes significativas, embora de forma mais dispersa. Porém, ainda de acordo com a Figura 6, o Rio Grande do Norte detém as menores altitudes, há poucos destaques em tons laranjas em sua área. Platôs isolados entre 650 e 700 m de altitude cobrem menos de 10% do estado do Rio Grande do Norte (Farr *et al.*, 2007).

É importante destacar que, embora o Nordeste não possua altitudes tão elevadas quanto outras regiões do Brasil, as elevações significativas presentes em algumas áreas têm um impacto considerável nas características ambientais da região. Por exemplo, a Chapada do Araripe, a Serra de Baturité e os Brejos paraibanos e pernambucanos abrigam ecossistemas distintos, como matas ciliares e formações de vegetação montanhosa (Porto; Cabral; Tabarelli, 2004), que são menos comuns nas áreas mais planas do semiárido nordestino.

A Figura 7 exibe as temperaturas médias anuais a partir da álgebra de mapas, considerando as correções realizadas com os valores de temperatura das estações de superfície localizadas na depressão sertaneja e nas áreas elevadas. O preenchimento dos espaços sem dados das estações meteorológicas de superfície foi realizado através de interpolação, considerando o gradiente vertical de temperatura associado às cotas altimétricas extraídas conforme Figura 6. Esse procedimento, baseado no trabalho de Faria, Lucena e Souza (2022), está detalhado na metodologia deste artigo.

Figura 7 - Estimativa de temperatura média do ar através de MDE para o Nordeste setentrional



Fonte: Elaborado pelos autores.

É possível observar a forte relação existente entre as cotas altimétricas e as temperaturas no Nordeste setentrional. Considerando o polígono semiárido e o bioma Caatinga, esses lugares mais elevados irão se configurar como “ilhas e enclaves de frescor e umidade” em termos térmicos e hídricos. A aplicação do gradiente vertical de temperatura foi eficiente na estimativa de temperatura em áreas elevadas, considerando que na pesquisa realizada foram identificados 167 municípios no Nordeste Setentrional (Apêndice 1), com altitudes superiores a 500 metros (Figura 5), porém apenas nove desses municípios tinham estações meteorológicas com normais climatológicas. A partir dessa análise, pode-se deduzir que os municípios constantes no apêndice 1, portadores de cotas altimétricas superiores aos 500 metros, são aqueles que possuem as temperaturas mais amenas do Nordeste setentrional. Também é admissível afirmar que quanto mais elevado o município, mais baixas serão as suas temperaturas, fato também identificado nesta pesquisa.

A condição térmica favorece os fenômenos orográficos, que por sua vez influenciam a forte biodiversidade da Caatinga, conforme demonstrado por diversos estudos já referenciados. Contudo, estudo realizado por Lucena *et al.* (2024), mostrou que o balanço hídrico, apesar de acompanhar as cotas altimétricas, apresenta maiores exceções, diferente da temperatura que se mostra quase como regra. Segundo os autores, outras covariáveis podem interferir no balanço hídrico local como distância do oceano, como disposição do relevo barlavento e sotavento.

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento permitiu a identificação mais precisa e eficiente dessas áreas elevadas, além de possibilitar a estimativa de variáveis climáticas. Com relação à LST, segundo Jensen (2009) e Steinke, Steinke e Saito (2010), a coleta de dados sobre a temperatura superficial pode ser adquirida através do sensoriamento remoto, por meio do calor interno expelido de um alvo, sendo convertido em energia radiante. Desse modo, o sensoriamento remoto inserido nessas geotecnologias define-se como um conjunto de procedimentos destinados à obtenção de imagens ou outros tipos de dados por meio da coleta de energia eletromagnética emitida ou refletida pela superfície terrestre, através de sensores acoplados nos mais variados níveis de aquisição (Florenzano, 2011).

Simultaneamente, a implementação de técnicas de geoprocessamento possibilitou um melhor tratamento e uma melhor representação espacial dos dados climáticos, inclusive por permitir a inferência automatizada dos valores em regiões que não possuem estações meteorológicas (Oliveira; Rosa, 2013). Contudo, os valores de correlação moderada entre a temperatura do ar e a temperatura de superfície mostraram que essa relação é complexa no semiárido. Segundo Forooshani *et al.* (2023), essas diferenças se devem ao fato de que as LSTs dependem muito do tipo de superfície e mudam rapidamente no espaço e no tempo em ambientes áridos à medida que a superfície se aquece e se resfria em função da radiação solar.

Outro ponto a destacar é a importância da correção dos dados observados nas estações climatológicas ao aplicar o gradiente vertical de temperatura. Partindo do pressuposto de que locais na mesma altitude e latitude podem apresentar temperaturas distintas devido a outras covariáveis geográficas, essa correção torna-se essencial para reduzir vieses na análise, o gradiente vertical pode incorrer em erro se não houver dados de temperatura do ar numa área de grande dimensão espacial. Além disso, deve-se considerar as condições de cobertura do solo e estações do ano. Segundo Barry e Chorley (2013), a redução vertical geral da temperatura do ar é variável, e também depende das mudanças de estação do ano e localização.

Nesse sentido, a hipótese levantada de que na ausência de dados térmicos de estações meteorológicas, ferramentas de geoprocessamento em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) poderão auxiliar na geração de dados de temperatura foi confirmada, através da elevada correlação entre a altitude associada aos dados térmicos das estações meteorológicas e aos dados de temperatura aparente da superfície. Contudo, deve-se enfatizar a importância das informações coletadas por estações de superfície no monitoramento climático, uma vez que essas não se limitam à análise da temperatura do ar, da mesma forma que as geotecnologias devem ser entendidas como uma ferramenta de suporte complementar para aperfeiçoar os dados obtidos e suprir os dados ausentes.

Conclusões

A presente pesquisa analisou a variabilidade térmica no Nordeste setentrional por meio da integração de dados de estações meteorológicas e técnicas de geoprocessamento, evidenciando

padrões espaciais de temperatura associados à altitude e destacando o papel das áreas elevadas na modulação térmica regional. Os resultados das estações de superfície, considerando as temperaturas médias, máximas e mínimas, mostraram-se menores em comparação com as regiões das depressões sertanejas, do mesmo modo que houve uma correlação inversa e forte entre altitude e temperatura do ar, evidenciando que quanto maior a altitude do lugar, menores são os valores de temperatura do ar. Esse fato é muito importante para ser considerado em diversos vieses da gestão ambiental em regiões quentes do globo, como no Nordeste setentrional.

Quanto à análise de correlação, os valores de temperatura máxima, média e mínima do ar apresentaram forte relação com os dados de altitude, fato não detectado na temperatura de superfície, que por sua vez, só apresentou correlação significativa com dados de temperatura máxima média. Este fato pode estar relacionado à limitação do horário da passagem do satélite.

O desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e das técnicas de Geoprocessamento possibilitaram um melhor tratamento e uma melhor representação espacial dos dados climáticos, inclusive por permitir a inferência automatizada dos valores em regiões que não possuem estações meteorológicas, seja através da aplicação do gradiente vertical de temperatura, de técnicas de interpolação e extração de temperatura da superfície, através de imagens de satélite LANDSAT. A aplicação do gradiente vertical de temperatura foi bastante eficiente na estimativa de temperatura em áreas elevadas, considerando que na pesquisa realizada foram identificados 167 municípios no Nordeste Setentrional com altitudes superiores a 500 metros, porém, apenas nove desses municípios tinham estações meteorológicas com normais climatológicas.

Esta pesquisa desenvolvida para identificar as serras com base nas geotecnologias e suas temperaturas associadas, trará como perspectiva a exploração de novas questões, incluindo recursos hídricos, cobertura vegetal, e outros fatores ambientais relevantes nas áreas serranas do semiárido brasileiro e da Caatinga presente no Nordeste setentrional. Esse aprofundamento permitirá uma análise mais abrangente e integrada das características geográficas do clima numa das regiões mais quentes e secas do Brasil.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas de mestrado e de doutorado concedidas, e à Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PROPESQ/UFRN) pela bolsa PIBIC concedida, cujo apoio foi fundamental para a realização desta pesquisa.

Referências

- AB'SÁBER, A. N. (1974). *O domínio morfo-climático semi-árido das caatingas brasileiras*. São Paulo: IGEOGU-USP. 34 p. (Geomorfologia, 43).
- AB'SÁBER, A. N. Nordeste sertanejo: a região semiárida mais povoada do mundo. *Revista Estudos Avançados*, São Paulo, v. 13, n. 36, p. 7-59, 1999.
- AB'SÁBER, A. N. (2003). *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. 10. ed. São Paulo: Ateliê Editorial.
- ALBANO, C.; GIRÃO, W. Birds of humid forests of the mountains of Aratanha, Baturite and Marazion, Ceará. *Revista Brasileira de Ornitologia*, [S. l.], v. 16, n. 33, p. 13, 2013.
- AQUINO, A. M. de; NETTO, A. L.; ASSIS, R. L. de. (2018). *Desenvolvimento sustentável em ambientes de montanha: estratégias e experiências*. Seropédica: Embrapa Agrobiologia; Niterói: Programa Rio Rural.
- BARATTO, J. et al. Metodologia para a estimação da temperatura do ar em função da altitude a partir de dados de perfil topoclimático. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S. l.], v. 30, p. 112-132, 2022. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.14789>.
- BARBOSA, C. C. F. et al. (1998). Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico-Econômico. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 9., 1998, Salvador. *Anais...* São José dos Campos: INPE.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. (2013). *Atmosfera, Tempo e Clima*. 9. ed. Tradução: Ronaldo Cataldo Costa. Porto Alegre: Bookman.
- CABRAL JÚNIOR, J. B.; BEZERRA, B. G. Análises da evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste*, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 71–89, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2018v4n1ID14746>.
- COSTA, Júlio César da Silva. (2006). *Caracterização geológica e geomorfológica da porção sul do município de Caicó/RN, com base em imagens de sensores remotos ativos e passivos*. Relatório de Pesquisa (Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- EROS. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. (2020). *Landsat 4-5 Thematic Mapper Level-2, Collection 2* [dataset]. U.S. Geological Survey. DOI: <https://doi.org/10.5066/P9IAXOVV>.
- FARIA, R. M.; LUCENA, R. L.; SOUZA, S. F. F. de. Mapeamento do conforto térmico no estado do Rio Grande do Norte. *Revista de Geografia*, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 113-138, dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.34019/2236-837X.2022.v12.39223>.
- FARR, T. G. et al. The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, [S. l.], v. 45, n. 2, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>.
- FLORENZANO, T. G. (2011). *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. São Paulo: Oficina de Texto.
- FOROOSHANI, M. E. et al. Creating air temperature models for high-elevation desert areas using machine learning. *Journal of Computational Innovation and Analytics*, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 1-19, 2023. DOI: <https://doi.org/10.32890/jcia2023.2.1.1>.
- FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; DE AGUIAR, A. V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. *Revista de Estudos Ambientais*, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 49–64, 2008. DOI: <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2008v10n1p49-64>.
- FRITZSONS, E.; WREGE, M. S.; MANTOVANI, L. E. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S. l.], v. 16, p. 108-119, jan./jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v16i0.39665>.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (1981–2010). *Normais Climatológicas*. Disponível em: [link do Inmet]. Acesso em: ago. 2024.
- JENSEN, J. R. (2009). *Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: Parentese.
- JUNIOR, R. R. dos S.; CARACRISTI, I. Análise climática do maciço de Baturité (CE): subsídio ao planejamento e gestão ambiental. *Ciência Geográfica*, [S. l.], v. 26, n. 4, p. 2227-2258, 2022. DOI: <https://doi.org/10.57243/26755122.XXVI4024>.
- LICHSTON, J. E. et al. (2023). Life Despite Drought in the Brazilian Semiarid. In: SINGH, V. P. et al. (org.). *Integrated Drought Management*. Flórida: Routledge & CRC Press. v. 1, p. 607-627.

- LUCENA, R. L. Semiaridity and rainfall variability in northeastern Brazil. *International Journal Semiarid*, [S. l.], v. 6, p. 87-97, 2023. DOI: <https://doi.org/10.56346/ijsa.v6i6.164>.
- LUCENA, R. L. et al. The Influence of Altitude on the Climate of Semiarid Areas: Contributions to Conservation. *The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses*, [S. l.], v. 14, p. 81-93, 2022. DOI: <https://doi.org/10.184048/1835-7156/CGP/v14i02/81-93>.
- LUCENA, R. L. et al. The climate and climatological water balance of Brazilian semi-arid mountainous areas and inland depression. *Revista Agrogeoambiental*, [S. l.], v. 16, p. e20241833, 2024. DOI: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v16nunico20241833>.
- MARSHALL, S. et al. Near-surface-temperature lapse rates on the Prince of Wales Icefield, Ellesmere Island, Canada: implications for regional downscaling of temperature. *International Journal of Climatology*, [S. l.], v. 27, n. 3, p. 385-398, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1396>.
- MEDEIROS, J. F. de. (2016). *Da Análise Geossistêmica à Serra dos Martins: Contribuição Teórica Metodológica aos Brejos de Altitude*. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- MEDEIROS, J. F. de; CESTARO, L. A. As diferentes abordagens utilizadas para definir brejos de altitude, áreas de exceção do Nordeste brasileiro. *Sociedade e Território*, Natal, v. 31, n. 2, p. 97–119, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21680/2177-8396.2019v31n2ID16096>.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, M. (2007). *Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos.
- MILANESI, M. A.; GALVANI, E. (2009). A chuva orográfica no Parque Estadual de Ilhabela: (PEIb - SP) - Estrada de Castelhanos. In: *Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 13., 2009, Viçosa, MG. *Anais...* Viçosa, MG: UFV.
- NASCIMENTO, A. C. L. do et al. Comparison between Air Temperature and Land Surface Temperature for the City of São Paulo, Brazil. *Atmosphere*, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 491, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos13030491>.
- OLIVEIRA, D. A. de; ROSA, R. (2013). Temperatura de superfície obtida com técnicas de geoprocessamento. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 16., 2013, Foz do Iguaçu. *Anais...* São José dos Campos: INPE.
- PINA, M. F.; SANTOS, S. M. (2000). *Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde*. Brasília: OPAS. 122 p.
- PORTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. (2004). *Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba: História Natural, Ecologia e Conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- REIS, A. C. Clima da caatinga. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 48, p. 325-335, 1976.
- RODRIGUES, P. C. G. et al. Ecologia dos Brejos de Altitude do Agreste de Pernambuco. *Revista de Geografia*, Recife, v. 25, n. 3, p. 20-34, 2009.
- SÁ, I. B.; SILVA, A. S. (ed.). (2010). *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido.
- SOUZA, M. J. N. de; OLIVEIRA, V. P. V. de. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do Nordeste brasileiro. *Mercator*, Fortaleza, v. 5, n. 9, nov. 2008.
- STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimentos em Planaltina-DF. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S. l.], v. 6, p. 37-56, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v6i0.25604>.
- SUDENE. (2021). *Delimitação do Semiárido – 2021: relatório final*. Recife: SUDENE.
- TOMLIN, C. D. Map algebra: one perspective. *Landscape and Urban Planning*, [S. l.], v. 30, n. 1-2, p. 3-12, 1994.
- YNOUE, R. Y. et al. (2017). *Meteorologia: noções básicas*. São Paulo: Oficina de Textos.