

# **ANÁLISE SINÓPTICA DOS TIPOS DE TEMPO DE NATAL, NORDESTE DO BRASIL COM A APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS AUTOMATIZADAS DE “MACHINE LEARNING”**

Júlio César Freire de Farias <sup>1</sup>  
Francisco Jablinski Castelhana <sup>2</sup>

## **INTRODUÇÃO**

A perspectiva geográfica esteve presente desde o início da trajetória de formação e sistematização da ciência do clima, porém, somente a partir da implementação do modelo dinâmico de análise climática que esta passou a ser verdadeiramente contemplada. Neste modelo, os elementos atmosféricos, que antes eram considerados individualmente nos estudos, passaram a ser tratados de modo conjunto e relacionado com a circulação atmosférica. Além disso, a noção de ritmo e sucessão dos tipos de tempo, antes pouco considerados pela excessiva importância dada aos valores médios, passou a ter mais relevância (BARROS, et. al., 2009; SANT’ANNA NETO, 2001, 2008).

Esta nova concepção difundida foi denominada de climatologia dinâmica e se estabeleceu como paradigma a ser seguido nos trabalhos da área desde então, atrelando-se, inclusive, mais fortemente com o caráter associativo da geografia. A presença de uma óptica mais geográfica possibilitou análises mais integradas com os aspectos espaciais e sociais, perspectiva estas de valor significativo, principalmente, pela criticidade do atual cenário de intensificação das mudanças climáticas (BARROS, et. al., 2009; SANT’ANNA NETO, 2001, 2008).

Desse modo, admitiu-se a importância da aplicação da perspectiva dinâmica e notou-se a necessidade do desenvolvimento de técnicas que possibilitassem essa análise conjunta dos elementos do clima com os sistemas atmosféricos e suas respectivas atuações nos mais variados locais. Daí que surge a proposição das Análises Sinópticas dos tipos de tempo que, considerando os processos realizados, podem ser classificadas como manuais,

---

<sup>1</sup> Júlio César Freire de Farias do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, [julio.freire.118@ufrn.edu.br](mailto:julio.freire.118@ufrn.edu.br);

<sup>2</sup> Francisco Jablinski Castelhana: Pós-doutor, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, [francisco.castelhana@ufrn.br](mailto:francisco.castelhana@ufrn.br).

híbridas e automáticas, As automáticas são as mais ideais por permitirem análises em quantidades extensas de dados, o que permite observar as reais mudanças de padrões climáticos de forma mais simplificada (BARROS, et. al., 2009; CASTELHANO, 2023).

O município de Natal (Figura 01) abrange uma área territorial de aproximadamente 167 km<sup>2</sup> e tem uma população de aproximadamente 750 mil pessoas, sendo 100% destes habitantes da zona urbana (IBGE, 2022). A evolução urbana da cidade aconteceu de forma rápida e pouco ordenada o que resultou na má ocupação e uso do solo, na ineficiência do sistema de drenagem pluvial e na formação de ilhas de calor. Situações como estas somadas à intensificação da ocorrência de eventos extremos atrelados às chuvas e ao aumento da temperatura têm provocado precariedade no cenário urbano da cidade e no bem estar da população (ROCHA, et. al, 2014; SOUSA, 2021).

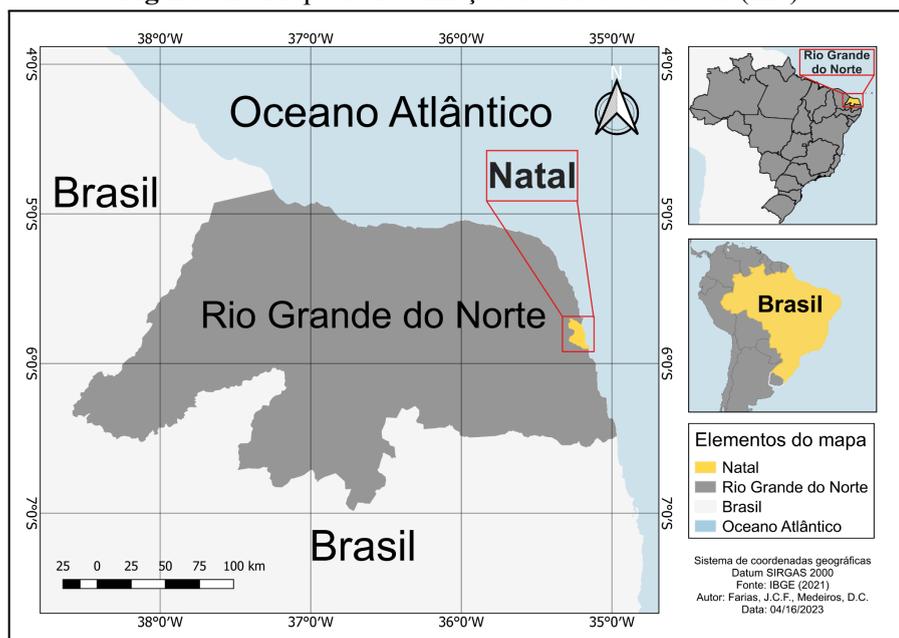
Dessa forma, torna-se fundamental a análise sinóptica dos tipos de tempos atuantes no local a fim de que se amplie as informações existentes sobre suas variabilidades e respectivas mudanças no cenário climático do município. Logo, o presente estudo se propõe a realizar uma análise sinóptica dos tipos de tempos atuantes na cidade de Natal do período entre os anos de 1991 e 2020, a partir das técnicas automatizadas de classificação dos tipos de tempos.

## **METODOLOGIA**

A cidade de Natal (Figura 01) situa-se no litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (RN), região esta caracterizada por apresentar temperaturas altas e constantes e um regime de chuvas volumoso e heterogêneo. O município sofre influência significativa dos sistemas atmosféricos associados ao Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), como os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL's); mais eventualmente, da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); e, ainda, das brisas marinhas e terrestres e dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (DINIZ; PEREIRA, 2015).

Considerando as classificações de Köppen-Geiger (KOTTEK, et. al, 2006), o clima do município de Natal é avaliado como tropical de savana (As) com temperatura média de 26,5 °C e média pluviométrica de 1682 mm por ano. As temperaturas na cidade são constantes e variam de 24,8 °C em Julho à 27,6 °C em Fevereiro. As chuvas, porém, são mais presentes entre os meses de Março a Julho, com médias superiores aos 200 mm, e mais escassas entre os meses de Setembro e Dezembro, com médias inferiores aos 60 mm.

**Figura 01 - Mapa de localização da cidade de Natal (RN)**



**Fonte:** Autoria própria (2023)

Para a realização da presente análise, utilizaram-se dados diários de Temperatura Máxima ( $T_{máx}$ ), Média ( $T_{med}$ ) e Mínima ( $T_{mín}$ ); Umidade Relativa Média do Ar (U.R.); Total de Precipitação (Prec); e Velocidade Média do Vento (V.V) referentes aos anos de 1991 a 2020. A coleta deu-se por meio do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), correspondente à estação meteorológica de Natal. Importante mencionar que alguns dias da série foram descartados devido a incompletude de dados, com isso, o resultado obtido foi de um total de seis variáveis e 9609 observações.

A amostra foi organizada em quadros de dados no Software R e submetida a aplicação da técnica da Análise dos Componentes Principais (PCA). Tal técnica possibilita a simplificação e otimização das informações de um determinado banco de dados ao transformar um montante diversificado de variáveis em um novo fator principal de mesma dimensão, denominado de Componente Principal (PC), sem que sejam alteradas as informações originais (CASTELHANO, 2023).

Considerando que a PCA agrupa as variáveis de acordo com a compatibilidade entre suas variâncias, é necessário que exista uma correlação entre estas. Dessa forma, como primeira medida, criou-se uma matriz de correlações entre os elementos meteorológicos e, com isso, pôde-se observar relações positivas fortes entre as temperaturas; relações positivas moderadas entre a precipitação e a umidade; e relações negativas moderadas entre

precipitação e temperaturas, entre precipitação e velocidade do vento e entre umidade e velocidade do vento.

Logo em seguida aplicou-se o teste de esfericidade de Bartlett e obteve-se um *p-valor* de 0, abaixo do limite de 0,05, que atesta a correlação entre as variáveis e, por sua vez, permite a criação de Componentes Principais e o prosseguimento da análise. Nisso, para a parte da criação dos Componentes Principais formou-se uma quantidade de fatores equivalente à quantidade de variáveis originais, seis, e calculou-se, por meio da Análise Fatorial, a variância compartilhada de cada componente (autovalores) (Tabela 02).

**Tabela 02** - Variância Compartilhada dos Componentes Principais

|                                 | PC1   | PC2   | PC3   | PC4   | PC5   | PC6   |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Autovalores                     | 2,988 | 1,357 | 0,681 | 0,507 | 0,414 | 0,054 |
| Prop. dos Autovalores           | 0,498 | 0,226 | 0,113 | 0,084 | 0,069 | 0,009 |
| Prop. Acumulada dos Autovalores | 0,498 | 0,724 | 0,838 | 0,922 | 0,991 | 1,000 |

**Fonte:** Autoria própria (2024)

Para reduzir o volume de informações na análise, optou-se por ir de acordo com os procedimentos do critério de Kaiser, em que são mantidos apenas os componentes com autovalores superiores a 1. Dessa forma, permaneceram apenas os PC1 e PC2 que apresentaram 72,4% do total de variância compartilhada.

Como última etapa da PCA, os dois fatores estabelecidos foram submetidos a um método de ranqueamento pautado no critério da soma ponderada e ordenamento. Isto se deu mediante a multiplicação do autovalor de cada componente pelo próprio percentual de variância compartilhada (Prop. dos Autovalores), seguido pelo ordenamento do resultado obtido por esses cálculos que, por sua vez, variou de -2,017 a 1,521. Tal intervalo representa de forma simplificada ambos os componentes principais e, assim, a possibilidade de variância das variáveis meteorológicas e das observações referentes ao banco de dados original.

Em sequência, a nova variável alcançada foi submetida ao processo de “clusterização” para definir os intervalos de classificação e subdividi-la em novos grupos com características equivalentes. Isto se deu por meio do método não-hierárquico de “Kmeans” e o número de grupos foi determinado mediante o cálculo da mínima soma dos quadrados das distâncias intraclusters, em que se foi obtido como resultado um total de cinco “clusters” (CL).

Considerou-se, ainda, cada “cluster” como sendo a representação de um tipo de tempo atuante do município de Natal. O tipo 1 (CL1), aconteceu em 60,5% do tempo analisado; o tipo 2 (CL2), em 16,4%; o tipo 3 (CL3), em 20,3%; o tipo 4 (CL4), em 0,8%; e o tipo 5

(CL5), em 2,0% das observações. Destaca-se que o desenvolvimento dessas etapas deu-se por meio do software R a partir do uso dos pacotes psych e factoextra.

Por fim, o resultado final foi inserido no software Microsoft Excel, tratado e transformado em uma tabela para melhor ilustração das características dos elementos meteorológicos de cada “cluster” (Tabela 04) e em gráficos, para melhor entendimento da sazonalidade dos tipos climáticos (Gráfico 01) e da evolução temporal da atuação de cada tipo climático (Gráfico 02).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 4 indica as características dos elementos meteorológicos de cada “cluster”. No CL1, nota-se uma considerável variação da precipitação, com um máximo de 135mm e uma média de 4mm por dia. As temperaturas máximas, médias e mínimas também oscilaram consideravelmente em relação às suas médias nesse tipo climático, assim como a umidade relativa do ar e a velocidade média do vento.

O CL2, no entanto, apresentou uma média baixa de precipitação, de apenas 1,3 mm. As temperaturas foram altas e tanto a umidade relativa do ar quanto a velocidade média do vento demonstraram uma pequena queda em comparação com o CL1. O tipo climático CL5, é o que mais se aproxima com o CL2. Nele a precipitação também foi escassa e as temperaturas também foram altas, as maiores dentre os cinco tipos climáticos. Além disso, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento foram as menores, dentre os cinco.

**Tabela 04** - Características meteorológicas dos clusters

|             | Cluster 1 |      |      | Cluster 2 |      |      | Cluster 3 |      |      | Cluster 4 |      |      | Cluster 5 |      |      |
|-------------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
|             | Min       | Méd  | Máx  |
| Prec. (mm)  | 0         | 4    | 135  | 0,0       | 1,3  | 73,7 | 0         | 8,8  | 253  | 0         | 24,7 | 135  | 0         | 1,3  | 51   |
| U. R (%)    | 63,8      | 80,2 | 97,8 | 66,8      | 77,7 | 93,8 | 65,8      | 83,8 | 97,5 | 75        | 91   | 97,5 | 70        | 76,8 | 86,8 |
| T. Máx (°C) | 26,6      | 29,9 | 32,2 | 29        | 30,9 | 33,2 | 24,6      | 28,4 | 30,6 | 23,4      | 26,3 | 28,8 | 29,8      | 31,6 | 34,4 |
| T. Med (°C) | 24,4      | 26,7 | 28,6 | 26,4      | 28   | 29,4 | 22,9      | 24,9 | 26,7 | 22        | 23,2 | 24,2 | 27,8      | 28,7 | 29,8 |
| T. Min (°C) | 18        | 23,4 | 26,9 | 21,4      | 25,5 | 28,1 | 16,2      | 20,7 | 24,1 | 15,4      | 18,9 | 22,4 | 24,2      | 26,6 | 28,5 |
| V. V (m/s)  | 0         | 4,3  | 10   | 0         | 3,7  | 7,2  | 0,2       | 4,5  | 9,3  | 1,5       | 4    | 6,4  | 0         | 2,4  | 6,2  |

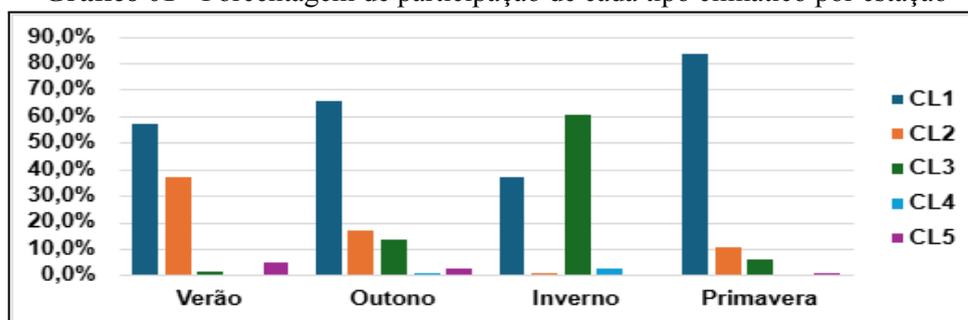
**Fonte:** Autoria própria (2024)

Os CL3 e CL4 manifestaram características parecidas, ambos apresentaram altos registros de chuva, à destaque da média de 24,7 mm do CL4 e do extremo máximo de 253

mm do CL3. Nos dois tipos climáticos, as temperaturas foram mais amenas, com uma média mínima notável do CL4 de apenas 18,9, e a umidade relativa do ar foi alta, com média de 91% no CL4. Em ambos os casos a velocidade do vento foi mediana, com pouca alteração.

A questão sazonal enquadra-se como um fator de extrema importância na análise sinóptica dos tipos de tempo. Diante disso, o Gráfico 01 ilustra a participação de cada tipo climático em cada estação do ano. Os CL3 e CL4, caracterizados por apresentar temperaturas mais amenas e consideráveis acumulados de precipitação, aconteceram predominantemente nas estações de Outono e Inverno. De forma análoga, o estudo de Diniz e Pereira (2015) indica uma maior ocorrência de dias chuvosos e com temperaturas amenas no outono e inverno do litoral leste do Rio Grande do Norte, onde localiza-se o município de Natal.

**Gráfico 01** - Porcentagem de participação de cada tipo climático por estação

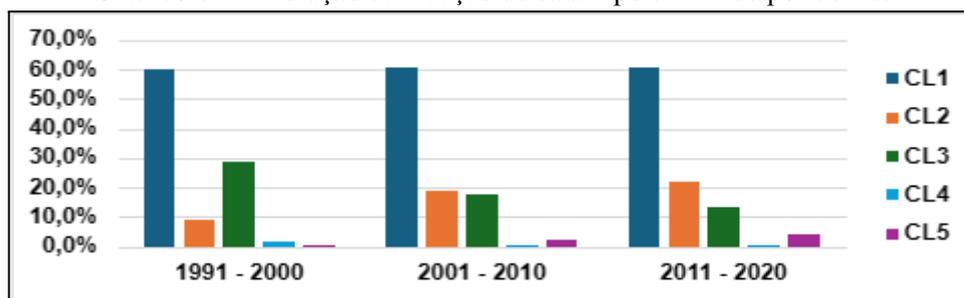


**Elaboração:** Autoria própria (2024)

Tais condições são associadas à atuação de sistemas atmosféricos de diferentes escalas no período mencionado. O principal é o sistema de mesoescala das brisas marinhas e terrestres na região que, devido a sua configuração, possibilitam o carregamento e a permanência de umidade do oceano para o continente, quando as brisas marinhas são mais fortes, e a formação de tempestades, quando as brisas terrestres se intensificam e confluem com os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL's). O sistema atmosférico de mesoescala DOL's é o segundo em importância nos totais de precipitação na região nestes períodos do ano, trazendo umidade da região próxima à África, entre os meses de março e maio, e do Atlântico Sul entre os meses de junho e agosto (DINIZ; PEREIRA, 2015).

A utilização dos aspectos temporais é, também, relevante na análise sinóptica dos tipos de tempo. Nesse sentido, o Gráfico 02 ilustra a evolução da ocorrência de cada tipo climático ao passar das décadas. Os CL2 e CL5, tidos como mais quentes, aconteceram em apenas 9,1% e 0,3% dos dias da primeira década, respectivamente. Já na última década, esses valores passaram para 22,2% e 4%. Somado a isto, os CL3 e CL4, mais frios, diminuíram sua participação de 28,9% e 1,6%, respectivamente, para 13,2% e 0,3% no mesmo período.

**Gráfico 02** - Evolução da atuação de cada tipo climático por década



**Elaboração:** Autoria própria (2024)

Em concordância, pesquisas recentes apontam uma tendência de aumento das temperaturas em Natal entre 1991 a 2000 e 2001 a 2010, com maior acentuação na década de 2011-2020. Relaciona-se esses aspectos ao desordenamento do crescimento urbano da cidade. Tal fator ocasionou a diminuição das áreas verdes periféricas e urbanas no município e uma verticalização expressiva que, somadas à maior presença de poluentes na atmosfera local com o aumento da frota de veículos, contribuíram para o aumento geral da temperatura do município e, ainda, para a formação de ilhas de calor em localidades específicas (CASTELHANO, 2022; MAPBIOMAS, 2023; ROCHA, et. al, 2014; SOUSA, 2021) .

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio desta pesquisa e mediante a aplicação das técnicas de “Machine Learning”, de Análise de Componentes Principais e Clusterização, pôde-se classificar e constatar a existência de cinco tipos climáticos em Natal no período de 1991 a 2020. Foi possível analisar a atuação desses tipos climáticos e de suas respectivas correlações com os sistemas atmosféricos atuantes na região e, ainda, associar a maior ocorrência dos tipos climáticos mais quentes ao passar das décadas com o aumento da temperatura no município. Fator este, admitido como provável consequência do processo desordenado de urbanização da cidade.

O presente estudo destaca-se por tratar da análise sinóptica dos tipos de tempo a partir de uma metodologia ainda pouco explorada que permite a utilização de séries temporais mais extensas e, com isso, uma análise mais precisa e simplificada sobre as variabilidades e mudanças do clima em escala local. Porém, admite-se a necessidade da realização de estudos com viés social, adentrando as consequências no bem estar da população. Dessa forma, destaca-se o interesse do autor no desenvolvimento e aprofundamento da temática.

**Palavras-Chave:** Análise dos Componentes Principais; Análise Sinóptica; Climatologia Dinâmica; Rio Grande do Norte; Tipos de Tempo.

## REFERÊNCIAS

BARROS, J.R.B.; ZAVATTINI, J.A. Bases Conceituais em Climatologia Geográfica. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, V.8, N.16, 2009

CASTELHANO, F.J. **Machine Learning aplicado a Análise Sinóptica dos Tipos de Tempo**. 2023. 21 f. TCC (Especialização) - Curso em Data Science e Analytics, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

CASTELHANO, F.J. **Tendências e Extremos de Temperatura em Natal, Rio Grande do Norte**. XIX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, p. 237-239, 2022.

DINIZ, M.T.M.; PEREIRA, V.H.C. Climatologia do estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. **Boletim Goiano de Geografia, Goiânia**, V.35, N.3, P.488-506, 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 23 abr. 2024.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 20 abr. 2024

KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, V.15, N.3, P.259-263, 2006.

MAPBIOMAS BRASIL. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em 24 jun. 2024.

SANT'ANNA NETO, J.L. Da Climatologia Geográfica à Geografia do Clima Gênese, Paradigmas e Aplicações do Clima Como Fenômeno Geográfico. **ANPEGE**, Presidente Prudente, V.4, P.51-72, 2008.

SANT'ANNA NETO, J.L. Por uma Geografia do Clima Antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**, São Paulo, N.17 P.49-62, 2001.

ROCHA, S.R.; STUDART, T.M.C. **Caracterização das chuvas na cidade de Natal/RN com a aplicação da técnica estatística dos quantis (1986 a 2013)**. XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, p. 1-10, 2014.

SOUSA, G.S. **O CLIMA E AS PRÁTICAS AGRÍCOLAS URBANAS E PERIURBANAS EM NATAL (RN): análise sobre as ilhas de calor urbanas**. 2021. 119 p. Dissertação (Produção do espaço geográfico), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2021.

A pesquisa é fruto de pesquisas realizadas durante a execução dos projetos “Aspectos Geográficos da Poluição do Ar no Rio Grande do Norte: Diagnóstico e Propostas em face às Mudanças Climáticas Globais”