

A IMPORTÂNCIA DA GRANULARIDADE TEMPORAL PARA A IDENTIFICAÇÃO DOS TIPOS DE TEMPO ATMOSFÉRICOS NO ESTUDO DA CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Francisco Resende de Albuquerque¹
Joel Silva dos Santos²
Eduardo Rodrigues Viana de Lima³

INTRODUÇÃO

O conhecimento científico é ancorado, entre outros paradigmas, na representação lógico-matemática dos fenômenos do mundo real, que é conformada pela granularidade da escala espaço-temporal ou nível de detalhamento utilizado na análise e interpretação das informações. No contexto restritivo da coleta de dados espaçados no tempo, o problema de uma pesquisa, relacionado a um modelo teórico insuficiente para explicar determinados fatos, pode conduzir a distintas percepções do objeto de estudo em face de múltiplas perspectivas teórico-metodológicas, como verificado nas pesquisas conduzidas pela Climatologia Clássica e pela Climatologia Dinâmica (CUNHA; VECCHIA, 2007).

O “clima”, compreendido como um conjunto de fenômenos atmosféricos em determinado local, é comumente formalizado através de parâmetros estatísticos que sintetizam um processo que começa com a caracterização do mensurando ou elemento climático, do método utilizado e dos procedimentos de medição (INMETRO, 2012), como evidenciado no livro *Aplicações de Estatística à Climatologia* (ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996). Essa síntese está sujeita a procedimentos que filtram os dados “ao longo de camadas de manipulação estatística”, visando “uma aura de convicção” que pode ser desfeita a partir de um olhar mais apurado das informações e da granularidade que descrevem o comportamento dos fenômenos climáticos observados (HUFF, 2016, p. 21).

Na publicação *Estimating daily climatological normals in a changing climate* (WMO, 2017) são apresentadas várias técnicas para os cálculos de normais climatológicas visando a caracterização do clima, no entanto, em virtude da proposta de análise da tendência central do conjunto de dados, as estatísticas não capturam o comportamento periódico e dinâmico dos

¹ Doutorando pela REDE PRODEMA/UFPB, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), e-mail: francisco.resende@ufape.edu.br.

² Doutor, Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), e-mail: joelgrafia.santos@gmail.com.

³ Doutor, Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), e-mail: eduvianalima@gmail.com.

fenômenos meteorológicos (UGEDA JR.; AMORIM, 2016). Essa perspectiva estática foi criticada na primeira metade do século XX, como observado na obra *Les fondements biologiques de la géographie humaine* (SORRE, 1947), que concebe o clima como manifestação de uma série de estados da atmosfera que varia em uma sucessão habitual em determinado local, comportamento cuja apreensão provavelmente depende de uma adequada granularidade temporal.

O embate entre as perspectivas teórico-metodológicas estática e dinâmica, para a investigação e representação dos fenômenos atmosféricos, têm várias consequências nos estudos climatológicos (VECCHIA; CUNHA, 2007). Nesse contexto destaca-se a proposta metodológica Análise Rítmica, que estabelece a investigação do ciclo periódico dos elementos climáticos, ou seja, do “retorno, mais ou menos regular, aos mesmos estados atmosféricos” (MONTEIRO, 1969) através da “representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades de tempo cronológico pelo menos diários”, compatível com o entendimento de circulação atmosférica regional geradora dos estados atmosféricos que constituem o fundamento do ritmo (MONTEIRO, 1971, p. 9).

A Climatologia Geográfica no Brasil, a partir dos pressupostos teóricos de Sorre e das contribuições de Monteiro, “tem sido eficiente na compreensão e na explicação dos mecanismos da circulação atmosférica regional e dos sistemas produtores dos tipos de tempo” (SANT’ANNA NETO, 2001, p. 54). Entretanto, para além da caracterização dinâmica, a definição adequada da granularidade temporal é essencial para a identificação e compreensão de fenômenos meteorológicos específicos, sejam na escala espacial regional, na mesoescala e na microescala, como os relacionados, por exemplo, com os ciclos metabólicos dos animais e vegetais no âmbito da bioclimatologia (GOBO, 2013), ou os associados às superfícies urbanas, à forma das cidades (estrutura, tecido e cobertura) e à função urbana (atividades humanas) na análise do Clima Urbano.

Nesse sentido destaca-se, conforme estabelece o Teorema da Amostragem de Nyquist–Shannon, que para o estudo de variáveis climáticas que variam periodicamente no tempo, para evitar o fenômeno de *aliasing*, o processo de recuperação da informação original contínua a partir de uma sequência numérica de dados exige uma taxa da amostragem maior que duas vezes a máxima frequência do sinal a ser amostrado (LATHI, 2008). Dessa forma, a granularidade ou análise grânulo-temporal, ou ainda a unidade mínima do tempo cronológico em estudos climáticos, deve ser selecionada de modo a proporcionar a máxima extração de informações interpretáveis diante da capacidade metodológica de explicação do desempenho de determinados fenômenos atmosféricos.

A granularidade temporal diz respeito ao nível de detalhe em uma estrutura de dados, “é um parâmetro que corresponde à duração de um *chronon*. Pode-se considerar, simultaneamente, diferentes granularidades (ano, mês, dia e minuto), para possibilitar uma melhor representação da realidade” (DIAS; CÂMARA; DAVIS Jr., 2005). Nesse contexto, a problemática do estudo é: “Como a escolha de distintas granularidades temporais influenciam a análise, interpretação e representação de fenômenos climáticos?”

O percurso teórico-metodológico para responder à pergunta da pesquisa é orientado para o objetivo de “investigar como diferentes granularidades temporais influenciam a interpretação do mesmo conjunto de dados de variáveis meteorológicas”. O estudo apreende, como paradigma, que o tempo meteorológico representa a sinergia dinâmica entre fatores astronômicos, com flutuações cíclicas horárias, e não astronômicos (geográfico, biogeográfico e socioeconômico) na escala espacial (CARACRISTI, 2004).

METODOLOGIA

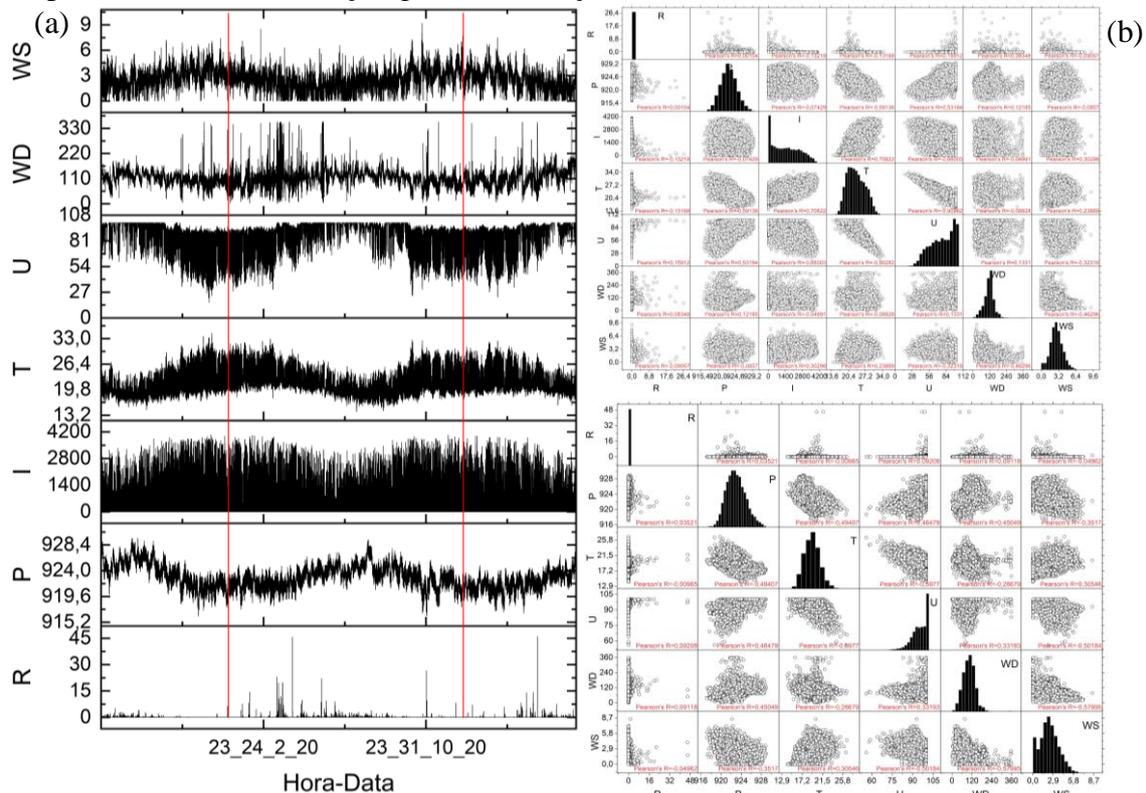
A pesquisa tem uma abordagem quantitativa, com foco na dimensão mensurável dos fenômenos atmosféricos. Os dados horários de variáveis climáticas da estação meteorológica A322, localizada na latitude -8.51 e longitude -36.49, em Garanhuns-PE, na altitude de 822,8 m, foram baixados do sítio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entre 01 de junho de 2019 e 30 de junho de 2021, no horário de Brasília.

As informações das variáveis, no *software Microsoft Excel*, foram segmentadas em diferentes granularidades, com representação dos dados horários instantâneos, cálculo das médias aritméticas diárias, a partir dos dados horários, e das médias mensais. No programa *OriginPro Student* foram elaborados gráficos bidimensionais e tridimensionais, com representação matricial, para a avaliação do comportamento dos elementos climáticos em função da variabilidade das diferentes granularidades temporais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1a encontram-se as séries temporais horárias das variáveis meteorológicas, com indicação de uma regularidade anual, exceto para a precipitação. A análise das séries temporais, apesar de não ser escopo deste trabalho, é amplamente utilizada para a caracterização das componentes de tendência, sazonalidade e ruído dos dados, como evidenciado no livro *Time Series Analysis in Meteorology and Climatology* (DUCHON; HALE, 2012).

Figura 1 – a) Comportamento horário das variáveis climáticas entre 01 de junho de 2019 e 30 de junho de 2021; b) Gráficos de dispersão das variáveis no período diurno e noturno (temperatura do ar: T; pressão atmosférica: P; umidade relativa: U; precipitação pluviométrica: R; radiação global: I; direção do vento: WD e velocidade do vento: WS).

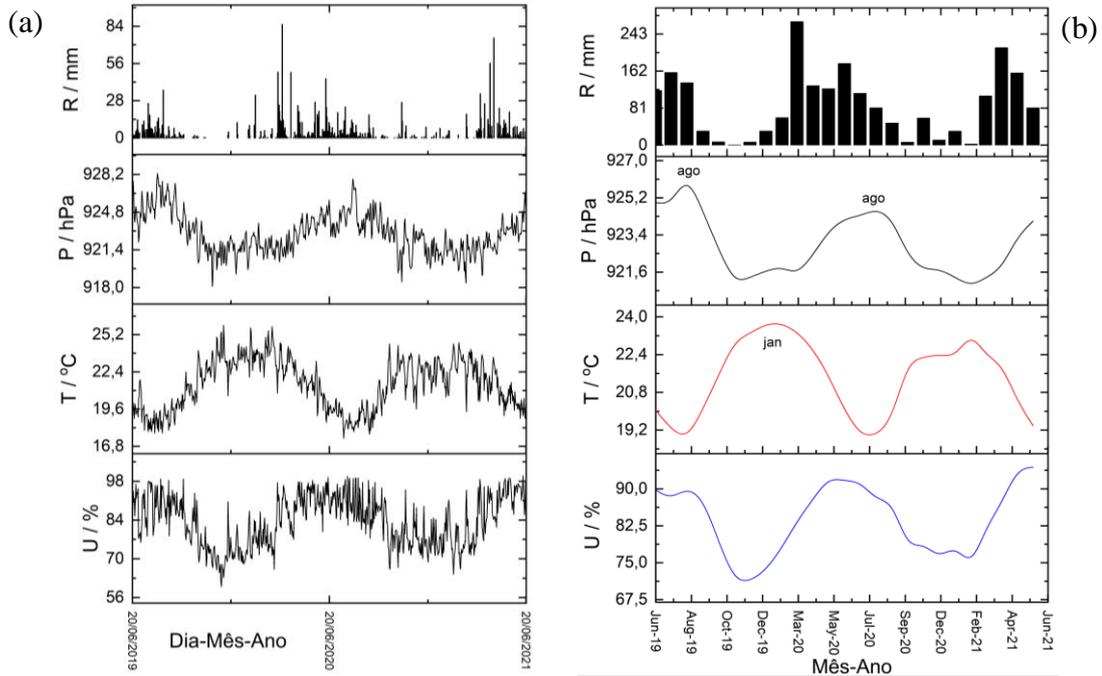


Fonte: Própria (2024).

No caso da temperatura, o valor mínimo horário desponta às 05:00 h de 17 de julho de 2020, $14,1(\pm 0,08)$ °C, enquanto que a máxima, de $34,4(\pm 0,08)$ °C, ocorre às 15:00 h de 07 de dezembro de 2019 ($\pm 0,08$ - precisão do sensor QMT 103 da Estação A322). A menor temperatura média diária é $17,5(\pm 2,58)$ °C em 17 de julho de 2020, ao passo que a maior, de $25,9(\pm 5,15)$ °C, sucede em 07 de dezembro de 2019 (Figura 2a). Na Figura 2b verifica-se que a menor temperatura média mensal dá-se em agosto de 2019, $18,8(\pm 0,59)$ °C, e a maior em janeiro de 2020, $23,7(\pm 0,75)$ °C, diferentemente dos valores horários e das estatísticas diárias, que ocorrem em julho de 2020 e dezembro de 2019 (Figura 1-2a).

Na Figura 1b estão as dispersões das variáveis e verifica-se que as distribuições de frequências são distintas, principalmente para a precipitação, a temperatura e a umidade relativa, que apresentam amplitude diurna (06:00 h às 18:00 h) entre 0 mm e 26,6 mm, $14,2$ °C e $34,4$ °C e 16,0% e 100,0%, e noturna entre 0 mm e 46,0 mm, $14,1$ °C e $26,7$ °C e 56,0% e 100,0%, respectivamente. Esses resultados sugerem que o intervalo de variação da temperatura diminui quando a granularidade temporal é reduzida, com a ocorrência de interseções entre os desvios-padrão, características que se estendem às demais variáveis meteorológicas.

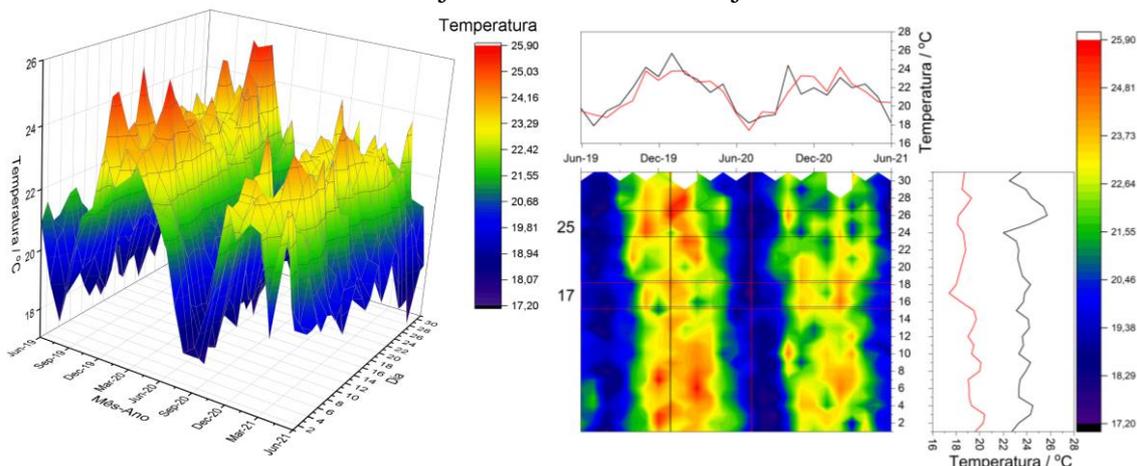
Figura 2 - Representação das variáveis climáticas de 20 de junho de 2019 a 20 de junho de 2021: a) desempenho da média diária; e b) comportamento da média mensal.



Fonte: Própria (2024).

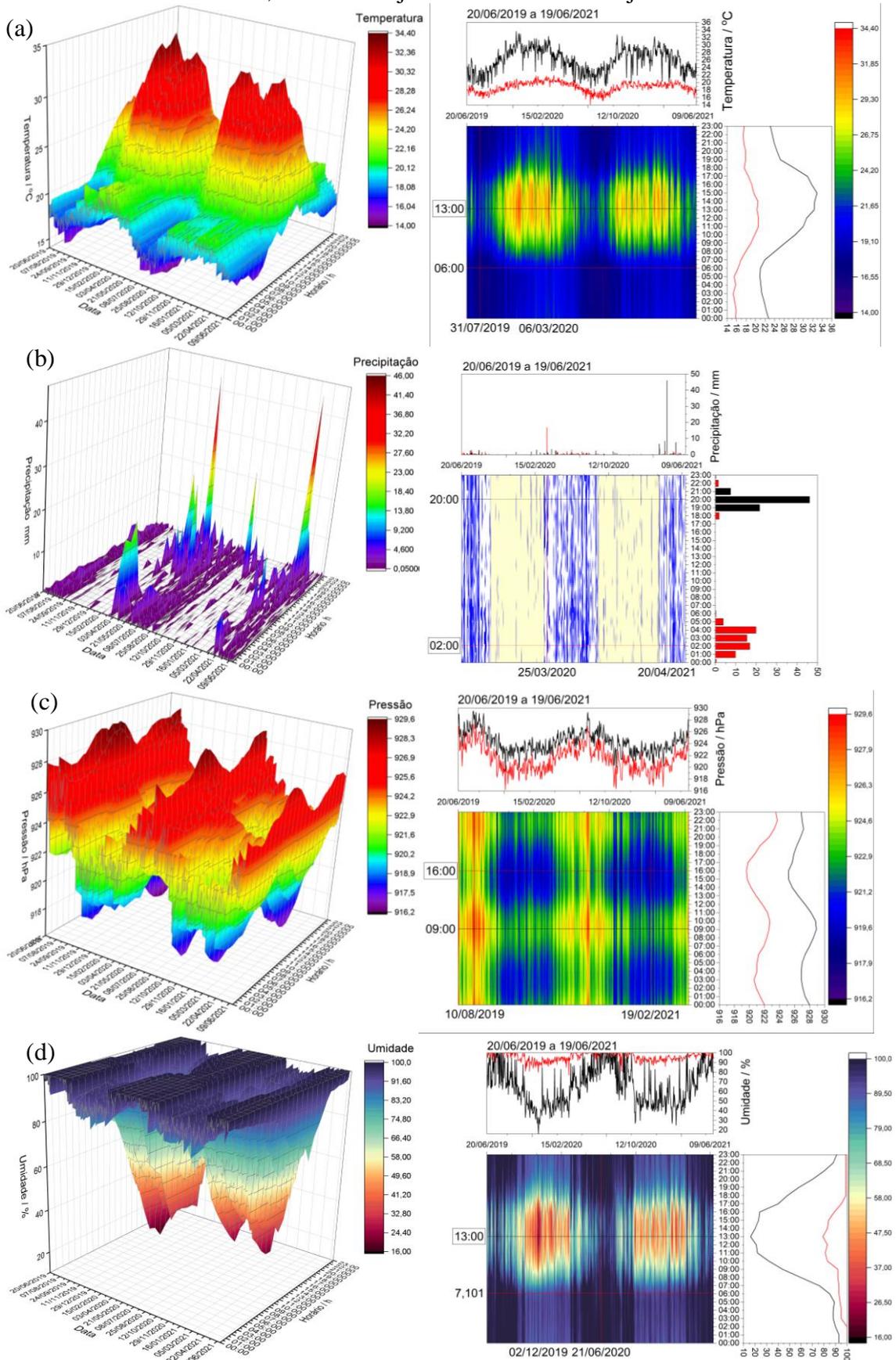
Os resultados indicam que a média aritmética deve ser usada com parcimônia para a descrição de variáveis climáticas que têm tendências periódicas regulares, para evitar vieses no estudo, como evidenciado, por exemplo, na região semiárida do Polígono das Secas, uma das regiões mais quentes do Globo, mas que tem médias térmicas anuais entre 23° e 27°C (MENDES, 1992). Na Figura 3 encontra-se a representação tridimensional da temperatura média diária, na configuração matricial, que demonstra como a diferenciação térmica, entre os períodos diurno e noturno, é omitida pelo uso da estatística.

Figura 3 – Representação tridimensional da temperatura média diária, no formato matricial, entre 20 de junho de 2019 e 20 de junho de 2021.



Fonte: Própria (2024).

Figura 4 - Representação tridimensional das variáveis climáticas horárias, no formato matricial, entre 20 de junho de 2019 e 19 de junho de 2021.



Fonte: Própria (2024).

As representações das medidas instantâneas das variáveis climáticas, obtidas de hora em hora, encontram-se na Figura 4. A título de exemplo, a granularidade horária permite a identificação das *marés atmosféricas* (Figura 4c), que são ocultadas nas Figuras 1 e 2, com ciclo oscilatório semidiurno na estrutura, fenômeno explicado pelas forças gravitacionais da lua e do sol e pela ação térmica solar (CHAPMAN; LINDZEN, 1970).

A maior parte dos fenômenos físicos e fisiológicos dependem das condições termo-higrométricas, relacionadas com o horário de insolação, de modo que os dados horários são essenciais para a conformação da variabilidade de índices bioclimáticos, como evidenciado nas Figuras 4a e 4d. Nesse contexto, chama atenção o comportamento da umidade relativa do ar, que apresenta valores abaixo do recomendado pela Organização Mundial da Saúde, que é de 60,0%, mas que não são identificados pelas médias diárias (Figura 2). Esse fenômeno pode estar associado à camada de inversão dos alísios ou à massa de ar Tépida Kalahariana, entre outubro e março, citadas no artigo “A dinâmica climática do semiárido em Petrolina – PE” (JATOBÁ; SILVA; GALVÍNIO, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variáveis climáticas, com exceção da precipitação pluviométrica, exibem um comportamento periódico no tempo cronológico, pois são influenciadas por eventos astronômicos, de tal modo que o processo de representação dessas informações contínuas, a partir de uma sequência discreta de dados, reivindica a definição de uma granularidade temporal horária que proporcione a identificação e interpretação de determinados fenômenos meteorológicos, assim como para a caracterização dos diversos tipos de tempos atmosféricos, que são comumente omitidos pelo uso de estatísticas, especialmente no contexto bioclimático e no estudo da Climatologia Geográfica.

Palavras-chave: Amostragem Temporal; Estatísticas; Variáveis Climáticas.

REFERÊNCIAS

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicacoes de estatística a climatologia: teoria - pratica**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas. 1996.

CARACRISTI, I. Geografia e representações gráficas: uma breve abordagem crítica e os novos desafios técnico-metodológicos perpassando pela climatologia. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, MG, N° 55/02, p. 15-24, 2004.

CHAPMAN, S.; LINDZEN, R. S. **Atmospheric Tides: thermal and gravitational**. Dordrecht: D.Reidel Publ, 1970.

CUNHA, D. G. F.; VECCHIA, F. As abordagens clássica e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática. **Ciência e Natura**, Santa Maria, RS, 29 (1), p. 137 - 149, 2007.

DIAS, T. L.; CÂMARA, G.; DAVIS Jr., C. A. **Modelos espaço-temporais**. p. 137-169, 2005. In. Bancos de Dados Geográficos. Org. M. A. Casanova *et al.* Curitiba: Geo, 2005.

DUCHON, C. E.; HALE, R. **Time series analysis in meteorology and climatology: an introductory**. Oxford: John Wiley & Sons, 2012.

GOBO, J. P. A. Regionalização Climática do Rio Grande do Sul como base no Zoneamento do Conforto Térmico Humano. 2013. 207 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, USP, São Paulo, SP, 2013.

HUFF, D. **Como mentir com estatística**. Tradução de Bruno Casotti. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Intrínseca, 2016.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)**. 1ª ed. Portaria Inmetro nº 232, de 08 de maio de 2012.

LATHI, B. P. **Sinais e Sistemas Lineares**. Tradução G. G. Parma. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MENDES, B. V. O Semi-Árido Brasileiro. **Anais - 2º Congresso Nacional sobre Essências Nativas**. p. 394-399, 1992. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/iflorestal/ifref/RIF4-2/.pdf>. Acesso em 13 jul. 2024.

MONTEIRO, C.A.F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil: contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil**. São Paulo: Instituto de Geografia/Universidade de São Paulo. 1969.

MONTEIRO, C.A.F. **Análise Rítmica em Climatologia**. **Climatologia**, São Paulo, 1971.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da Climatologia Geográfica à Geografia do Clima: gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**, São Paulo, Volume 4, Nº 4, 2008, p. 51-72.

SILVA, A. F.; GALVÍNCIO, J. D. A dinâmica climática do semiárido em Petrolina – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, Volume 10, Nº 01, p. 136-149, 2017.

SORRE, M. **Les fondements de la géographie humaine**. Tome premier. Les fondements biotiques. Essai d'une écologie de l'homme. 2e. ed. Paris: A. Colins, 1947.

UGEDA Jr., J. C.; AMORIM, M. C. C. T. Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **Revista do Departamento de Geografia**, USP, São Paulo, Volume Especial, p. 160-173, 2016.

WMO (World Meteorological Organization). **Guidelines on the calculation of Climate Normals**. WMO-Nº 1203. World Meteorological Organization, Geneva, 2017.