UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE BACHARELADO EM GEOGRAFIA

BHREENDA MAYHARA DA SILVA SANTOS

ANÁLISE RÍTMICA EM CLIMATOLOGIA APLICADA AO ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO NA CIDADE DE JOÃO PESSOA, 2008 A 2022

JOÃO PESSOA/PB
2024

BHREENDA MAYHARA DA SILVA SANTOS

ANÁLISE RÍTMICA EM CLIMATOLOGIA APLICADA AO ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO NA CIDADE DE JOÃO PESSOA, 2008 A 2022

Monografia apresentada ao Curso de Geografia da Universidade Federal da Paraíba como requisito para obtenção do Título de Bacharela em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Moura.

JOÃO PESSOA/PB
2024

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237aa Santos, Bhreenda Mayhara da Silva.
Análise rítmica em climatologia aplicada ao estudo do conforto térmico na cidade de João Pessoa, 2008 a 2022 / Bhreenda Mayhara da Silva Santos. - João Pessoa, 2025.
47 p. : il.

Orientação: Marcelo de Oliveira Moura.
TCC (Curso de Bacharelado em Geografia) - UFPB/CCEN.

1. Ritmo climático. 2. Conforto térmico. 3. Índice de desconforto térmico. 4. Geografia. I. Moura, Marcelo de Oliveira. II. Título.

UFPB/CCEN CDU 91(043.2)

Elaborado por Josélia Maria Oliveira da Silva - CRB-15/113

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE GEOGRAFIA

Resolução N.02/2021/CCBLG/CCEN/UFPB

PARECER DO TCC

Tendo em vista que o aluno (a) Rhuenda Maythara da Silva Santos

(X) cumpriu ( ) não cumpriu os itens da avaliação do TCC previstos no artigo 25º da Resolução N. 02/2021/CCBLG/CCEN/UFPB somos de parecer ( ) favorável ( ) desfavorável à aprovação do TCC intitulado: Análise rítmica em climatologia aplicada ao estudo do conforto térmico na cidade de João Pessoa/PB, 2008 a 2024

Nota final obtida: 9,5

João Pessoa, 05 de dezembro de 2024

BANCA EXAMINADORA:

Manela de Oliveira Moura
Professor Orientador

Professor Coorientador (Caso exista)

Membro Interno Obrigatório (Professor vinculado ao Curso)

Maressa Oliveira Lopes Araújo
Membro Interno ou Externo

À minha esposa Roberta que me inspira a ser
uma pessoa melhor todos os dias,
DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, que mesmo não estando mais aqui sei que ficou orgulhosa por ver os frutos que colhi e ainda colho dessa minha iniciativa de estudar em uma universidade Federal. Sendo a primeira da minha família a me formar num curso superior, agradeço também aos meus familiares como um todo por me proporcionar uma educação de qualidade mesmo diante dificuldades.

Agradeço também ao meu professor orientador Marcelo, que sempre me apoiou na minha jornada acadêmica desde o começo como educador e também como um amigo. Sou grata a meus amigos que me proporcionaram uma rede de apoio na universidade e fora dela.

E por fim, a minha amada esposa Roberta, que esteve sempre ao meu lado, me incentivando e me fazendo acreditar que sou capaz de conseguir tudo que almejo.

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo analisar através da análise rítmica (Monteiro, 1971), a variação temporal do *Discomfort Index* (DI) na cidade de João Pessoa/PB, no período de 2008 a 2022. Para esta finalidade, foram utilizados dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, oriundos da Estação Meteorológica Automática A320 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no Campus I da Universidade Federal da Paraíba, em João Pessoa/PB. Em termos operacionais, as séries temporais das variáveis meteorológicas foram adquiridas no site do Banco de Dados Meteorológicos do INMET e posteriormente, foram aplicados recursos estatísticos para a criação de base de dados a partir do índice criado por Thom (1959), intitulado *Discomfort Index* (DI). Após a criação da série do DI, foram aplicadas medidas estatísticas descritivas para análise do comportamento do DI em escala temporal anual, mensal e episódica. Também foram gerados gráficos de análise rítmica para realizar a representação concomitante dos principais elementos do clima (temperatura do ar, umidade relativa do ar, *discomfort index*, precipitação e velocidade do vento) bem como a utilização de imagens do satélite GOES-16 nos principais períodos de análise a fim de entender melhor a gênese dos fenômenos climáticos. No tocante aos resultados, observou-se que a média anual do DI encontra-se na zona confortável e que a cidade de João Pessoa registrou frequências relativas anuais classificadas em conforto térmico em todos os anos da série. Os valores mais elevados de desconforto foram encontrados nos meses de verão. Em termos de valores absolutos, o mês de março foi o mais desconfortável da série e os horários de ápice de todos os anos foram principalmente registrados no período diurno, especialmente de 12 às 16 horas.

Palavras Chave: Ritmo climático. Conforto térmico. Índice de desconforto térmico.

ABSTRACT

This research aims to analyze, through rhythmic analysis (Monteiro, 1971), the temporal variation of the Discomfort Index (DI) in the city of João Pessoa, Paraíba, from 2008 to 2022. For this purpose, hourly data on air temperature and relative humidity were used, sourced from the A320 Automatic Meteorological Station of the National Institute of Meteorology (INMET), located on Campus I of the Federal University of Paraíba, in João Pessoa/PB. Operationally, the time series of meteorological variables were obtained from the INMET Meteorological Database website. Statistical tools were then applied to create a database based on the index developed by Thom (1959), called the Discomfort Index (DI). After constructing the DI time series, descriptive statistical measures were applied to analyze the DI's behavior on annual, monthly, and episodic time scales. Rhythmic analysis graphs were also generated to concurrently represent the main climatic elements (air temperature, relative humidity, discomfort index, precipitation, and wind speed), along with the use of GOES-16 satellite imagery during the main analysis periods to better understand the genesis of climatic phenomena.

Regarding the results, it was observed that the annual average DI falls within the comfort zone, and the city of João Pessoa recorded annual relative frequencies classified as thermal comfort in all years of the series. The highest discomfort values were found during the summer months. In terms of absolute values, March was the most uncomfortable month of the series, and peak hours for all years were mainly recorded during the daytime, especially between 12 p.m. and 4 p.m.

Keywords: Climatic rhythm. Thermal comfort. Thermal discomfort index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Mapa de localização da cidade de João Pessoa.....15
Figura 02 - Estação meteorológica A320.....22
Figura 03 - Frequência relativa de conforto térmico térmico.....27
Figura 04 - Frequência relativa de desconforto térmico.....28
Figura 05 - Variação média anual do DI na cidade de João Pessoa...29
Figura 06 - Confortograma.....31
Figura 07 - Média horária do DI 2008 a 2022..... 32

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Sistema Clima Urbano (S.C.U).....20
Quadro 02 – Falhas da estação A320.....23
Quadro 03 – Frequência relativa de conforto e desconforto térmico... ..26
Quadro 04 – Valores médios horários.....29
Quadro 05 – Valores horários máximos absolutos.....33
Quadro 06 – Ranking dez maiores episódios de desconforto..... 34

LISTA DE PRANCHAS DE RÍTMO CLIMÁTICO

Prancha 01 – Episódios 1, 3, 7 e 10 (03/04/2020 – 09/04/2020).....38
Prancha 02 – Episódio 2 (26/02/2020 – 03/03/2020).....39
Prancha 03 – Episódio 4 13/04/2019 – 20/04/2019).....40
Prancha 04 - Episódio 5 (30/03/2010 – 05/04/2010).....41
Prancha 05 – Episódios 6 e 8 (10/03/2019 – 17/03/2019) 42
Prancha 06 - Episódio 9 (18/03/2019 – 25/03/2019).....43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão de Água do Estado da Paraíba

CCM – Complexos Convectivos de Mesoescala

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DI – *Discomfor index*

DOL – Distúrbios Ondulatórios de Leste

EMA – Estação Meteorológica Automática

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

LI – Linhas de Instabilidade

MEA – Massa Equatorial Atlântica

MTA – Massa Tropical Atlântica

SCU – Sistema Clima Urbano

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

1.1 Justificativa 12

1.2 Objetivos 13

1.2.1 Geral 13

1.2.2 Específicos 13

1.3 Localização da área de estudo 14

2 ABORDAGEM TEÓRICA 15

2.1 Breve contextualização dos estudos sobre clima 15

2.1.1 Rítmo climático 16

2.1.2 Sistema Clima Urbano (SCU) 18

2.1.3 Conforto térmico 21

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 22

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 26

4.1 Pranchas de rítmo climático 38

5 CONCLUSÃO 45

REFERÊNCIAS 46

1. INTRODUÇÃO

Em seu livro "*The Climate of London*", publicado no início do século XIX, Luke Howard, considerado por muitos um pioneiro da meteorologia e do clima urbano, trouxe observações sobre como o clima, nas áreas centrais de Londres, estaria mais quente, se comparado com sua periferia. No Brasil, a temática teve maior relevância a partir da década de 1970 com a obra Teoria Clima Urbano, publicada pelo professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (1976). É nessa teoria que grande parcela dos trabalhos brasileiros sobre o clima urbano acerca do conforto térmico se insere.

O conforto térmico é definido como um estado de espírito que reflete satisfação com as condições térmicas do ambiente no qual o indivíduo está inserido. Essa definição é uma das mais aceitas pelos pesquisadores do tema e foi proposta pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE, 2013).

Situações de desconforto térmico são acentuadas por diversos fatores, tais como temperaturas baixas ou elevadas, pouca ventilação, baixa ou elevada umidade relativa do ar, propriedades térmicas dos materiais utilizados nas construções, retirada da cobertura vegetal, entre outros (Lima; Bruno; Santos, 2024; Martini; Biondi, 2015; Oliveira, 2021; Ribeiro, 2008; Silva; Oliveira, 2011).

Para que o conforto térmico seja estudado de maneira correta é preciso atentar-se a sua subjetividade. O conforto térmico sofre variação a depender de idade; sexo; etnia; peso; atividade física exercida e cobertura da pele (Pétalas, 2015). Existem inúmeros índices utilizados na medição de conforto/desconforto térmico humano e esses são escolhidos a partir da realidade climática encontrada na área de estudo e do objetivo do pesquisador.

Apresentado por Thom e, posteriormente, adaptado por Gilles (1990) o índice de desconforto, do inglês *Discomfort Index*, aplicado na presente pesquisa, é um dos mais utilizados nos trabalhos relacionados ao conforto térmico, principalmente no ramo da climatologia geográfica brasileira, uma vez que utiliza apenas dois valores de variáveis ambientais: temperatura do ar e umidade relativa do ar.

1.1 Justificativa

Os vários tipos de ocupação do solo influenciam de diferentes maneiras o microclima urbano e com isso, impacta diretamente a população que ali reside.

Pesquisas semelhantes já foram realizadas, a exemplo de Santos (2011) e Masiero; Souza (2015), em relação à influência do uso e ocupação do solo na temperatura do ar na cidade de João Pessoa, mas poucos trabalhos são voltados para a escala de microclima.

Estudos mais detalhados sobre o microclima urbano podem oferecer subsídios para políticas públicas mais eficazes e fomentar debate sobre a influência que o homem exerce sobre o clima. Portanto, a realização desta pesquisa se faz necessária não apenas para preencher uma lacuna acadêmica, mas também para subsidiar medidas á minimização do desconforto térmico ao calor na cidade de João Pessoa.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a variação temporal do *Discomfort Index* (Desconforto Térmico) na cidade de João Pessoa/PB no período de 2008 a 2022.

1.2.2 Objetivos específicos

i.) Classificar e analisar os valores do DI quanto as suas zonas de conforto e desconforto;

ii.) Estabelecer um *ranking* com os dez maiores episódios horários de desconforto para o calor;

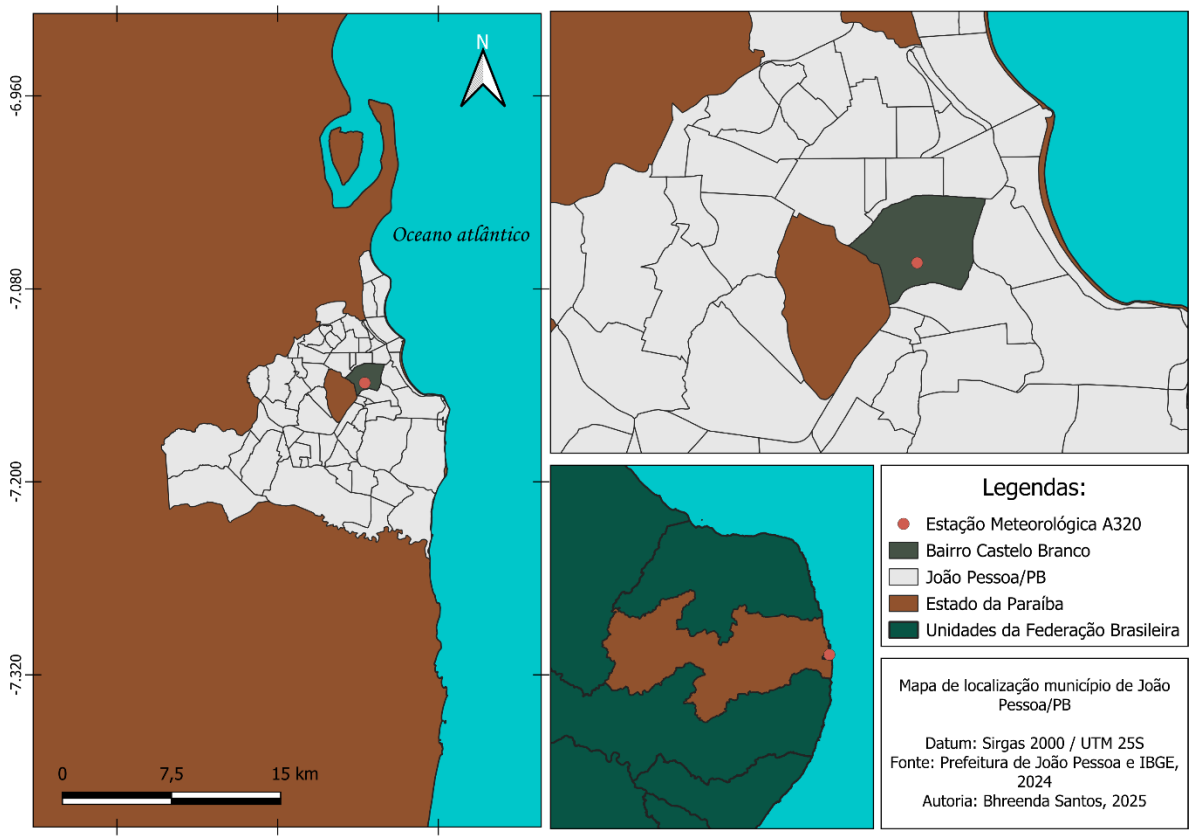
iii) Compreender a gênese dos tipos de tempo dos dez maiores episódios de desconforto térmico para o calor através da análise de atributos climáticos.

1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida para este trabalho foi a cidade de João Pessoa, na Paraíba (Figura 01). A cidade, capital do estado, está localizada entre as coordenadas 7.1188° S, 34.8814° W. Por se encontrar muito próxima a linha do Equador, acaba por ter a precipitação como principal característica climática. Sabe-se que devido a latitude, a região que está mais próximo do Equador será mais úmida, quente e consequentemente mais chuvoso. O clima de João Pessoa é classificado como tropical úmido, tendo pluviosidade anual em média de 1600mm a 1800mm (AESA, 2022). Se tratando de uma cidade litorânea, João Pessoa tem baixa amplitude térmica, pois o atlânticos erve como regulador de temperatura do ar, além a umidade relativa do ar está quase sempre acima de 70%. As chuvas na cidade habitualdmnte ocorrem no chamado “quadra-chuvosa” que corresponde aos meses de abril a julho. (AESA, 2022)

Os principais agentes formadores de tempo atmosférico em João Pessoa são: ZCIT (Zona de Convergência Intertropical); LI (Linhas de Instabilidade); DOL (Distúrbios Ondulatórios de Leste); a mEa (Massa Equatorial atlântica); VCAS (Vórtices Ciclônicos de Ar Superior); fenômenos como El Niño e o La Niña; e Dípolo do Atântico além atributos locais que também influenciam na dinâmica climática da cidade. (Cavalcante, 2009; mendonça, 2009; Pereira, 2019; Silva, 2014).

Figura 01 – Mapa de localização da cidade de João Pessoa/PB



Fonte: Prefeitura de João Pessoa e IBGE, 2024. Elaboração: Bhreenda Santos, 2025

2. ABORDAGEM TEÓRICA

2.1 Breve contextualização dos estudos sobre o clima ocidental

Historicamente, o homem se interessa pelos processos climáticos terrestres, visto que estes processos influenciam o ser humano em todas as suas esferas, como atividades econômicas, saúde, alimentação e até mesmo a cultura. Documentadamente, o clima terrestre já era observado por civilizações antigas como a civilização grega, através de observações e registros das condições atmosféricas. Por exemplo, Hipócrates, um filosófo e médico grego, escreveu em seu trabalho intitulado "*Ares, Águas e Lugares*" como o clima pode afetar a saúde humana: "Quem quiser estudar corretamente a medicina deve fazer o seguinte: considerar primeiro as estações do ano e os efeitos que cada uma delas produz."

Também é Importante citar Aristótoles, filosófo grego considerado o pai da Meteorologia, que, em meados de 340 a.C., escreve um livro denominado

Meteorologica, que continha suas observações e teorias sobre os mais diversos fenômenos climáticos. Entretanto, esses estudos ainda não constituiam o que posteriormente conheceríamos como um estudo do clima, pois eram vistos sob o viés de uma ciência mais astronômica que atmosférica.

Ao longo da história ocidental, foi deixando-se de lado a ideia da meteorologia proposta por Aristóleles, tendo em vista suas limitações. Com o advento da Revolução Científica (1500-1700) na Inglaterra e a criação de instrumentos como termometro (1593), o barometro de mercúrio (1643) e o telegráfo (1832), que proporcionaram o compartilhamento de dados acerca dos estudos atmosféricos, o estudo do clima foi se consolidando como ciência e aproximando-se do que conhecemos hoje.

Com a evolução da tecnologia e a necessidade de estudos mais aprofundados sobre o clima e o tempo, novas abordagens foram surgindo. Assim, surge a Climatologia. Apesar de tomar como princípio os mesmos fenômenos climáticos estudados pela meteorologia, é definida como o estudo cientifíco do clima.

> “Pode-se dizer, portanto, que o meteorologista estuda o tempo, enquanto o climatologista estuda o clima. Entretanto, a climatologia está baseada na meteorologia, que por sua vez, está baseada nos princípios da física e da matemática. Portanto, há uma relação estreita entre meteorologia e climatologia.” (Ayoade, p.3 1983).

Enquanto a meteorologia preocupava-se com o estudo das variáveis meteorológicas num curto período de tempo, baseando-se em previsões pautadas na matemática e na física, a climatologia preocupava-se com a sucessão dos estados atmosféricos durante um longo período de tempo. A climatologia, como ciência, surge a partir da necessidade de compreender os padrões de comportamento da atmosfera e seus processos dinâmicos.

O entendimento da estreita relação entre o homem e o clima, todos os processos que ocorreram com a sociedade em todo o globo, tais como o aumento populacional e até mesmo o desenvolvimento tecnológico, fomentou preocupações a respeito de como o clima pode exercer influência sobre o homem.

2.1.1 RÍTMO CLIMÁTICO

Proposta por Monteiro (1971) surge a noção do clima como ritmo. Partindo da

definição de clima dinâmico de Sorre (1934) onde o clima é entendido como a série de estados atmosféricos sob um determinado lugar em sua sucessão habitual. Na análise rítmica, Monteiro (1971) vai mais além. Ele propõe que o clima seja entendido como a sucessão habitual e excepcional dos tipos de tempo. Essa análise é feita a partir de procedimentos estabelecidos pelo autor, a fim de analisar a climatologia de um local de forma dinâmica. Para que se entenda o clima e suas excepcionalidades, devem ser utilizados na pesquisa uma base de dados em escala no mínimo diária, para que cada variação que ocorra naquele determinado dia não passe despercebida. Sobre isso traz:

> O ritmo climático só poderá ser compreendido através da representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades de tempo cronológico pelo menos diárias, compatíveis com a representação da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento do clima (Monteiro, 1971 p.9).

A citação constitui-se na primeira conclusão do autor a respeito da noção de ritmo. Na segunda conclusão, Monteiro (1971) aborda que apenas a análise meticulosa a nível de tempo poderá revelar o conjunto de fatores que contribuíram para a produção do mesmo. Em seu trabalho, ele também nos diz que as características regionais não serão sempre as mesmas, visto a vasta variação de climas que nosso planeta tem, então, é importante verificar e aplicar as metodologias adequadas para o seu local de estudo. Não se deve, por exemplo, usar um estudo que teve como objeto o clima europeu, como parâmetro para achar métodos e técnicas para se analisar o clima mediterrâneo. A respeito disso, Monteiro coloca:

> Só a análise rítmica detalhada a nível de “tempo”, revelando a gênese dos fenômenos climáticos pela interação dos elementos e fatores, dentro de uma realidade regional, é capaz de oferecer parâmetros válidos à consideração dos diferentes e variados problemas geográficos dessa região (Monteiro,1971, p.12).

Na terceira conclusão, Monteiro revela que a Análise Rítmica apesar de ter caráter qualitativo, não deve desprezar os dados quantitativos, pois os elementos climáticos estão muito ligados a conjuntura dos mesmos e que os resultados dessa análise, como já dito anteriormente, devem levar em consideração as características e problemáticas geográficas da área.

Para melhor elaboração de pesquisas pautadas na análise rítmica, Monteiro (1971) elaborou um roteiro a ser seguido, tais como: i. uso de dados de estações meteorológicas convencionais ou automáticas, em escala no mínimo diária; ii. definição de períodos-padrão onde o pesquisador vai escolher anos, estações, meses ou episódios significativos de acordo com seu objeto de pesquisa; iii. análise das cartas sinóticas e imagens de satélites para identificar os sistemas atuantes; iv. Elaboração de um gráfico para tornar o trabalho de fácil visualização e por fim tentar fazer uma classificação climática. Nos gráficos devem conter os principais elementos climáticos, a saber: temperatura; pressão atmosférica; umidade relativa do ar; precipitação; direção e velocidade do vento; cobertura do céu, sistemas atmosféricos atuantes (produtores de tempo) e outros. Sobre o gráfico da análise rítmica Mendonça expõe:

> Para analisar o ritmo de uma localizada área, há que se construir um gráfico no qual devem ser representados os seguintes elementos: temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa, precipitação, direção e velocidade dos ventos, nebulosidade, sistemas atmosféricos predominantes, entre outros. Assim, torna-se possível observar, conforme a evolução horária e diária, a sucessão dos tipos de tempos. Para curtos, médios ou longos períodos de análise, quanto maior o detalhamento dos dados, melhor também será a análise dos tipos de tempo e a evolução dos estados do tempo (Mendonça, 2007, p20- 21).

2.1.2 Sistema Clima Urbano (S.C.U)

O intenso processo de aumento populacional atraiu o interesse de pesquisadores em todo o globo, principalmente nos séculos 19 e 20, especialmente na Inglaterra, dado o processo de industrialização que ocorreu no século 19. No Brasil, a partir da década de 1950 começaram a surgir pesquisas com o intuito de compreender a relação do homem com o ambiente urbano, visto que esse crescimento do contingente populacional se deu sobretudo nas cidades, como apontam Mendonça e Danni-Oliveira:

> A partir da década de 1960, e principalmente sob a influência de Monteiro, a Climatologia brasileira passou a registrar a produção de trabalhos de cunho regional e local, os quais transcenderam a predominante abordagem estritamente meteorológica do clima. [...] Destacaram-se os estudos voltados a Agroclimatologia e a Climatologia urbana, com a concepção de derivações antropogênicas do clima, de Carlos Monteiro. Esses estudos primam não somente pelo tratamento detalhado do ambiente climático dos diferentes lugares, mas também pelo levantamento de diretrizes voltadas ao planejamento urbano, agrícola, regional e ambiental, ressaltando o caráter pragmático do conhecimento do clima (Mendonça, Danni-Oliveira, 2007,

p.17).).

Partindo das reflexões de Sorre (1951) em que o clima deve ser compreendido como a série de estados da atmosfera sobre um lugar, em sua sucessão habitual, ou seja, uma abordagem dinâmica do tipos de tempo e da Teoria Geral dos Sistemas (Bertalanffy, 1950) que propunha que todos os processos poderiam ser compreendidos sob a perspectiva de sistemas de forma dinâmica e aberta, Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro propôe uma nova metodologia para os estudos do clima no contexto das cidades, diante da sua insatisfação com o modo como o clima nas cidades estava sendo contemplado até então.

> Desta forma, Monteiro configurou o S.C.U. como um sistema complexo, aberto e adaptativo, que ao receber energia do ambiente maior no qual se insere (energia solar) a transforma a ponto de gerar uma produção exportada para o ambiente [...] Considerando o Sistema Clima Urbano como um sistema aberto é necessário considerar, além dos fatores geradores de energia externos, os fatores internos, isto é, o homem e a dinâmica criada pelo mesmo no espaço citadino (Mendonça *et al,* 2012).

O Sistema Clima Urbano (1976) permite analisar o clima urbano de maneira dinâmica, considerando todos os processos, desde os mais simples até os mais complexos. Esta abordagem visa compreender o clima peculiar de uma cidade, frente ao aumento da população, retirada da cobertura vegetal, aumento na massa edificada, entre outros.

Na metodologia de Monteiro (1976), o S.C.U (Sistema Clima Urbano) pode ser analisado através dos canais de percepção: i) Termodinâmico (Conforto Térmico); ii) Físico-Químico (Poluição do ar); e iii) Meteoros de impacto (Hidrometeórico), que consideram as três principais variáveis climatológicas: temperatura do ar, umidade relativa do ar e pressão atmosférica.

Quadro 01 - Sistema Clima Urbano (S. C. U)

Subsistemas Canais d e Percepção	Termodinâmico Conforto Térmico	Físio – Químico Qualidade do Ar	Hidrometeóric o Impacto Meteórico
Fonte	Atmosfera radiação Circulação horizontal	Atividades urbanas Veículos automotores Indústrias	Atmosfera estados especiais (desvios rítmicos)
Trânsito no sistema	Intercâmbio de operador e operando	De operando ao operador	Do operador ao operando
Mecanismo de ação	Transformação no sistema	Difusão através do sistema	Concentração no sistema
Projeção	Interação núcleo ambiente	Do núcleo ao ambiente	Do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (renovável)	Episódio eventual
Observação	Meteorológica espacial (T. campo)	Sanitária e Meteorologia especial	Meteorológica e Hidrológica (T. campo)
Correlações disciplinares	Bioclimatologia e Arquitetura Urbanismo	Engenharia Sanitária	Engenharia Sanitária e Infra – estrutura Urbana
Produtos	Ilhas de calor Ventilação aumento de precipitações	Poluição do ar	Ataques à integridade urbana
Efeitos diretos	Desconforto e redução do desempenho humano	Problemas sanitário s, respiratórios, oftalmológico, etc.	Problemas de circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	Controle do uso do solo, Tecnologia de conforto habitacional	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da infra – estrutura urbana e regulação fluvial; Uso do solo
Responsabilidade	Natureza e homem	Homem	Natureza

Fonte: Monteiro, 1976 e 2003.

2.1.3 CONFORTO TÉRMICO

Partindo do pressuposto de que o ser humano é um animal homeotérmico, sua temperatura interna deve manter-se entre 36,1C° e 37,2C°, acima ou abaixo disso o corpo manifesta adversidades. Sendo comparado a uma máquina térmica, o corpo humano transforma a energia obtida através de processos químicos em energia térmica, em que 20% dessa energia é transformada em potencialidade de trabalho, e 80% é transformado em calor que será dissipado posteriormente. Esse calor precisa ser dissipado para que a temperatura térmica corporal esteja em equilíbrio e isto ocorre a depender da atividade exercida pelo indivíduo. Manter a temperatura corporal em equilíbrio, ou seja, devolver ao ambiente a mesma quantidade de calor absorvido é função de um mecanismo chamado termorregulação.

> A termorregulação, portanto, consiste em um conjunto de sistemas responsáveis pela regulação da temperatura corporal, cuja finalidade principal é a manutenção do equilíbrio entre produção e perda de energia térmica (BURTON, 1939).

Quando a temperatura corporal está em equilíbrio com a temperatura externa, denominamos de conforto térmico. Sendo também um dos canais percepção do S.C.U, o conforto térmico é definido como a satisfação da mente e do corpo frente as condições térmicas enfrentadas pelo índividuo (ASHRAE, 2013). Utilizando variáveis como temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, entre outros, o conforto térmico pode ser observado a partir de variáveis ambientais, como também por variáveis subjetivas.

As variáveis ambientais correspondem a elementos físicos mensuráveis do ambiente, como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, enquanto as variáveis subjetivas dizem respeito à forma como cada indivíduo percebe e reage a essas condições, influenciada por fatores como vestimenta, metabolismo e nível de atividade. Essa distinção é fundamental, pois demonstra que duas pessoas expostas ao mesmo ambiente podem experienciar sensações térmicas diferentes, evidenciando que o conforto térmico resulta da interação entre condições externas e respostas individuais (LOPES, 2020).

Esta sensação de conforto poderá ser sentida a depender de fatores como: vestimenta, cobertura de pele, sexo, etnia, massa corporal e idade (PÉTALAS, 2015). Outro fator importante é a aclimatação. Um indivíduo com origem em locais

mais quentes irá sentir menos desconforto em ambientes com altas temperaturas que um indivíduo com origem em locais frios (KRÜGER, 2018).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento da pesquisa, realizaram-se levantamentos exploratórios das séries temporais, a nível horário, das variáveis meteorológicas temperatura do ar e umidade relativa do ar para o período de 01 de janeiro de 2008 a 31 de dezembro de 2022. As séries temporais foram adquiridas a partir Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia (BDMEP/INMET) no seguinte endereço: https://bdmep.inmet.gov.br/. As séries são oriundas da Estação Meteorológica Automática do INMET João Pessoa – EMA/INMET João Pessoa, localizada no Campus I da UFPB no município de João Pessoa (Figura 02). A escolha do período de análise da pesquisa se justifica em função do início do funcionamento da EMA/INMET João Pessoa, que data do dia 20/07/2007.

Figura 02 - Estação automática A320, Campus I, UFPB.



Fonte: Arquivo pessoal, 2022

Depois de realizada a triagem dos dados da série com o uso do *software* Microsoft Excel, foi constatado que no ano de 2012 foram encontrados 7.226 horários sem informações das variáveis, tornando impossível o cálculo dos valores de DI desses

horários (Quadro 02). Ao todo foram contabilizadas 25.184 falhas.

Quadro 02 – Quadro de falhas dos dados de 2008-2022

ANOS	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	TOTAL
2008	0	4	1	0	1	3	0	0	1	0	0	0	10
2009	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24	1	0	26
2010	3	0	0	0	0	273	591	595	103	0	0	1	1566
2011	0	0	55	233	232	226	226	260	0	0	0	0	1232
2012	0	398	744	720	744	720	744	744	720	744	720	228	7226
2013	0	0	18	0	0	328	348	0	0	0	0	0	694
2014	0	0	0	0	0	0	0	170	56	190	0	0	416
2015	27	0	0	156	121	203	147	0	0	0	0	0	654
2016	0	0	142	0	34	62	8	146	208	91	171	38	900
2017	17	0	3	24	20	18	2	0	0	0	41	527	652
2018	714	672	744	88	3	0	0	0	0	0	0	0	2221
2019	1	10	4	0	0	0	0	0	0	47	0	0	62
2020	0	0	0	25	391	163	383	275	365	456	447	346	2851
2021	397	540	396	520	536	720	585	744	556	744	691	27	6456
2022	19	27	27	4	0	2	5	1	16	39	44	34	218
TOTAL	1179	1651	2134	1770	2082	2718	3039	2935	2025	2335	2115	1201	25184

Fonte: INMET (2020) Organização: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

Ainda no mesmo *software*, foram criadas tabelas com médias para verificar a oscilação dos valores ao longo dos horários, dias, meses e anos estudados, o que permitiu analisar com detalhe todos os episódios de desconforto encontrados na série.

Existem inúmeros índices utilizados na medição de conforto/desconforto térmico humano e que são escolhidos a partir da realidade climática encontrada na área de estudo e do objetivo do pesquisador.

Apresentado por Thom e, posteriormente, adaptado por Gilles (1990), o *Discomfort Index*, índice aplicado na presente pesquisa, é um dos mais utilizados nos trabalhos relacionados a conforto térmico, principalmente no ramo da climatologia geográfica brasileira, uma vez que utiliza apenas dois valores de variáveis ambientais: temperatura do ar e umidade relativa do ar (Santos, 2011; Silva e Sousa, 2017).

O índice foi criado para analisar o desconforto térmico na população de uma cidade dos Estados Unidos. Portando, para ser replicado em cidades de clima tropical úmido, ele precisa ser adaptado. O *Discomfort Index* é exposto através da equação:

DI= Td-0,55.(1-0,01.RH).(Td-14,5)

Onde TD corresponde a Temperatura do bulbo seco e RH corresponde a umidade relativa do ar.

A escolha do índice foi realizada por ele ser o mais utilizado nos estudos da climatologia geográfica e por mostrar resultados satisfatórios nas referências levantadas. A presente pesquisa teve grande aparato metodológico no estudo de Silva e Sousa (2017), no qual o *Discomfort Index* precisou ser adaptado para a realidade climática da área de estudo.

No trabalho de Silva e Sousa (2017) foram analisados outros índices, mas ao final, o *Discomfort Index* foi escolhido por compreender melhor a dinâmica do clima da cidade de Palmas/TO. Essa adaptação do índice precisou ser feita porque a realidade climática em que originalmente foi pautado (Ayoade, 1986) não condiz com o clima que seria trabalhado. Visto que a referida pesquisa possui grande aparato metodológico na mesma realizada na cidade de Palmas-TO, o mesmo procedimento teve de ser realizado para esta pesquisa, pois na cidade de João Pessoa não seriam encontrados valores de desconforto para o frio, em virtude das suas condições de clima equatorial de baixa latitude.

Cabe destacar, que os dados a princípio seriam divididos em seis classes, mas por ser inviável aplicá-las a área de estudo, as zonas de conforto/desconforto foram reduzidas a apenas 2: conforto e desconforto para o calor. Valores encontrados entre 18,9ºC DI e 25,6ºC DI são considerados dentro classe conforto e valores acima de >25,6ºC DI são considerados desconforto para o calor.

Em continuidade, foi realizada a contagem de horários que se enquadravam na zona de conforto, os que se enquadravam na zona de desconforto e quantos por cento esses horários somavam ao final de cada mês e ano. Também foram feitos gráficos para obter um panorama da variação do DI ao longo dos anos, com valores absolutos e mensais, junto com as variáveis temperatura e umidade, além de tabelas de valores máximos encontrados.

Na sequência foi criado um *ranking* com os dez maiores valores de desconforto térmico da série, os quais serão denominados nesta pesquisa como

episódios.

A partir da tabulação dos dados foi criado um “confortograma” utilizando a metodologia de Silva e Sousa (2017) o qual evidenciou ainda mais o panorama de variação do desconforto térmico na área de estudo.

Por fim, foram criadas dez pranchas contendo gráficos de análise rítmica para o entendimento concomitante dos atributos climáticos com a atuação dos sistemas e massas de ar atuantes.

Para esta etapa foram utilizadas imagens horárias (10h, 11h, 12h, 13h e 14h) de satélites meteorológicos para a identificação dos sistemas e massas atuantes nos dias identificados como de maior desconforto térmico na série analisada, que foram retiradas do *website* oficial do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) https://www.cptec.inpe.br/, cartas sinóticas disponibilizadas pela Marinha do Brasil no endereço eletrônico https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas, *além de* imagens encontradas no *website* *https://earth.nullschool.net/.*

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo a metodologia proposta por Silva e Sousa (2017) e utilizando os 121.749 dados calculados, foram encontrados valores referentes a frequência relativa dos intervalos de classe propostos na pesquisa. Nenhum episódio horário foi encontrado na zona de desconforto para frio, e apenas 25,31% da série estudada foiclassificada em desconforto para o calor. Houve uma predominância de anosconsiderados confortáveis (Quadro 03).

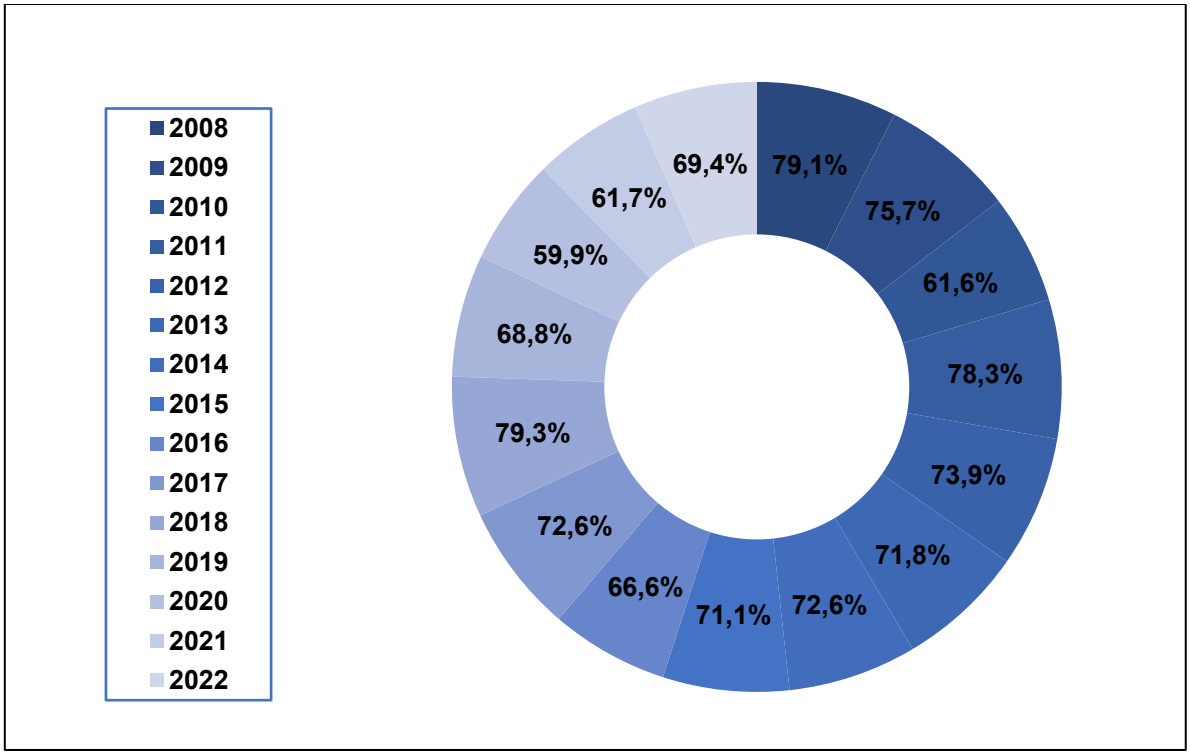
Quadro 03 – Frequência relativa do DI no período 2008 a 2022 em João Pessoa/PB

ZONAS DO DI		
DESCONFORTO PARA O FRIO	**CONFORTO**	**DESCONFORTO PARA O CALOR**
(≤ 18,9°C DI	(18,9°CDI) < X ≤ 25,6°C DI)	(> 25,6°C DI)
0,00%	62,27%	25,31%

Fonte: INMET (2020) Organização: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

Com base na Figura 03, observa-se que a área de estudo possui mais anos, segundo a classificação adaptada de Thom, dentro da zona de conforto. Ao todo foram encontrados 75.818 horários que se enquadravam ainda nos limites deconforto térmico. O ano de 2018 foi o mais confortável do período analisado, com frequência de 62,27% eventos de conforto.

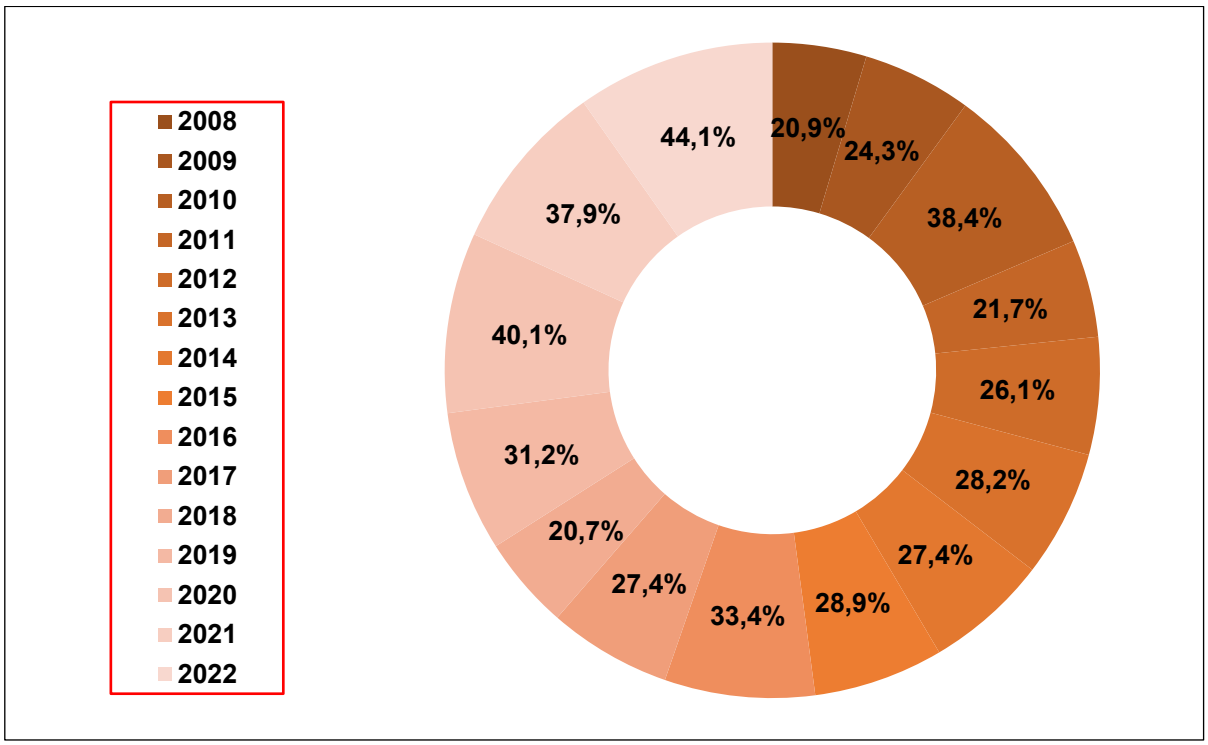
Figura 03 - Valores de frequência relativa anual para a zona “conforto térmico” em João Pessoa/PB 2008 a 2022



Fonte: INMET (2020) Organização: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

Em relação à figura 04, percebe-se que em todos os anos analisados a frequência relativa de conforto foi superior a frequência de eventos de desconforto térmico. Ao todo, foram encontrados 33.337 horários que foram classificados como dentro da zona de desconforto térmico. O ano de 2022 destaca-se como sendo o mais desconfortável da série por apresentar mais de 40% (44,06%) dos horários acima do limite do que ainda é configurado como conforto térmico.

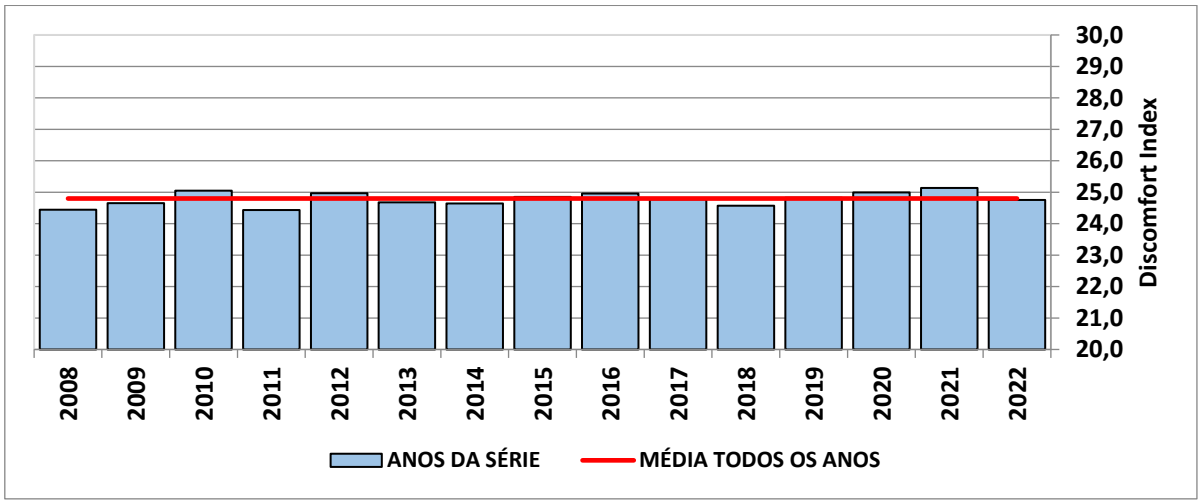
Figura 04 - Valores de frequência relativa anual para a zona “desconforto térmico ao calor” em João Pessoa/PB, 2008 a 2022



Fonte: INMET (2020) Organização: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2022

Os resultados serão apresentados de forma mais descritiva das variações temporais do Índice de desconforto partindo da escala temporal mais ampla (escala anual) para uma escala de tempo curto (análise horária). A Figura 05 por se tratar de médias anuais não apresenta muita variação do ID. O ano de 2010 e 2021 apresentam os maiores valores médios, com ID de 25,1°C. Os anos mais confortáveis foram 2017, 2019 e 2022 com 24,8°C ID. Apesar de também possuir média elevada, o ano de 2012 não foi contabilizado em razão do seu quantitativo de falhas.

Figura 05 – Variação média anual do DI na cidade de João Pessoa, 2008 a 2022



Fonte: INMET (2020) Organização: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

A partir do Quadro 04, observa-se que, em relação às médias o ano de 2020, registraram-se quatro meses classificados, segundo Thom (1959), como desconfortáveis para o calor, seguido pelo ano de 2010. O mês de março se destaca como o mês mais desconfortável da série.

Quadro 04 – Valores médios mensais do ID na cidade de João Pessoa por anos da série 2008 a 2022

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MÉDIA
2008	25,2	25,5	25,3	24,9	24,6	23,5	23,1	23,1	24,0	24,4	24,7	25,0	24,4
2009	25,2	25,0	25,5	25,3	24,7	24,0	23,5	23,7	24,3	24,5	24,8	25,3	24,7
2010	25,3	26,0	26,1	25,9	25,3	24,9	24,6	24,3	23,7	24,6	24,8	25,1	25,1
2011	25,0	25,4	25,5	24,9	24,6	23,9	23,1	23,2	23,6	24,4	24,7	24,9	24,4
2012	24,7	25,0										25,2	25,0
2013	25,3	25,6	25,9	25,4	24,9	24,0	23,3	23,5	23,9	24,5	24,6	25,2	24,7
2014	25,0	25,1	25,5	25,6	24,5	24,0	23,5	23,8	23,9	25,0	24,8	25,0	24,6
2015	25,1	25,5	25,3	25,9	25,6	24,7	24,0	23,7	24,1	24,4	24,8	25,1	24,9
2016	25,6	25,6	26,1	25,6	24,8	24,3	23,6	24,2	24,7	24,6	25,1	25,3	25,0
2017	25,3	25,6	25,8	25,6	24,9	24,3	23,0	23,5	23,7	24,4	24,9	26,3	24,8
2018	26,4			24,7	24,5	23,9	23,4	23,6	24,0	24,7	25,2	25,3	24,6
2019	25,4	25,8	25,8	25,6	25,3	24,1	23,6	23,6	24,0	24,4	25,0	25,3	24,8
2020	25,8	26,1	25,9	25,8	25,0	24,4	23,4	23,4	24,5	25,3	25,1	25,2	25,0
2021	25,5	24,9	25,5	25,5	24,3		23,9		24,5		26,1	25,9	25,1
2022	25,4	25,8	25,8	25,5	25,0	23,8	23,6	23,4	23,8	24,7	25,0	25,3	24,8
TOTAL	25,3	25,5	25,7	25,4	24,9	24,1	23,5	23,6	24,1	24,6	25,0	25,3	**24,8**

Legenda: Espaços em branco correspondem aos valores sem registros em função das falhas da série. Valores em vermelho referem-se as maiores médias mensais encontradas na série.

Fonte: INMET (2020) Organização: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

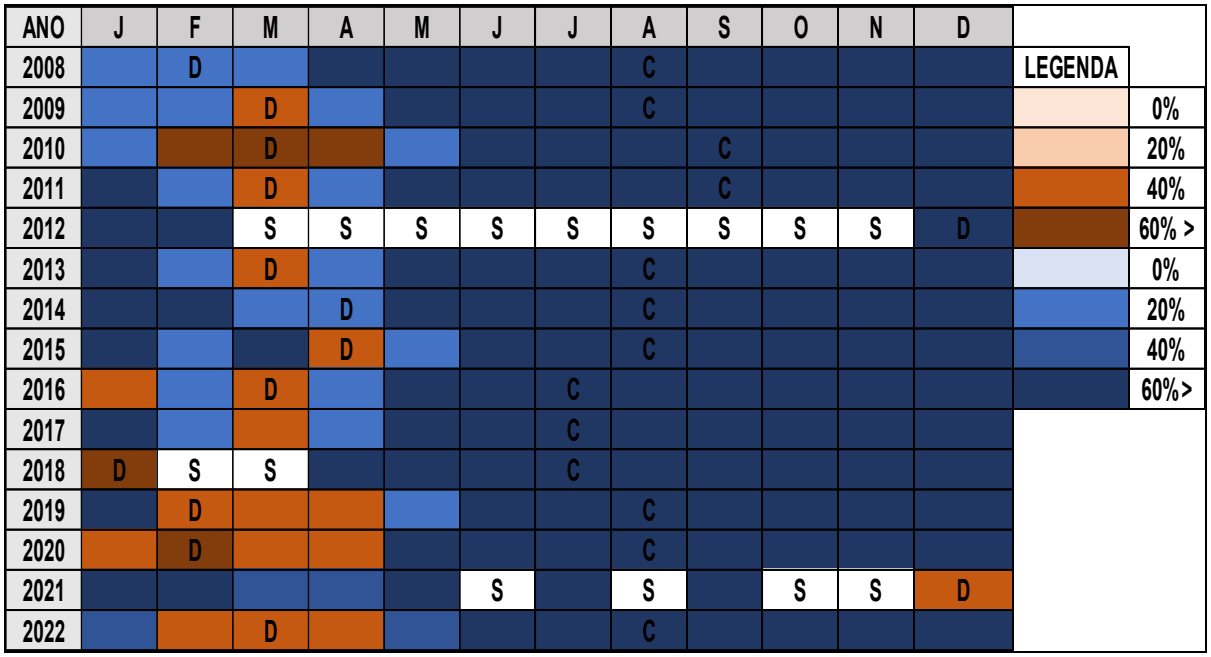
O ano de 2012 encontra-se quase por completo sem valores, com exceção

dos meses de janeiro, fevereiro e dezembro. Nota-se que há um aumento no valor do índice nos meses de verão na cidade de João Pessoa e uma ligeira queda nos valores situados nos meses de inverno. Nos meses de março e abril são registrados os maiores quantitativos. Em junho, julho e agosto têm-se os menores valores e a partir de setembro os valores do índice voltaram a subir.

Utilizando a metodologia proposta por Silva e Sousa (2017), foi gerado um confortograma (Figura 06) para se ter um panorama melhor da média do Índice de desconforto. Nota-se que nem sempre o episódio de desconforto para o calor esteve inserido em um mês inteiramente desconfortável. Percebe-se isso nos meses de fevereiro, abril e dezembro de 2008, 2014 e 2012, respectivamente. Em termos médios, a área de estudo registrou 62,27% dos horários inseridos dentro da classe de conforto. Os meses mais desconfortáveis em João Pessoa estão majoritariamente inseridos no período do verão, com exceção dos meses de abril que encontra-se no outono.

Com relação aos meses mais confortáveis, verifica-se a predominância do mês de agosto com oito ocorrências nos anos de 2008, 2009, 2013, 2014, 2015, 2019, 2020 e 2022, podendo ser considerado assim o mês mais confortável em João Pessoa nos últimos doze anos e o ano de 2008 pode ser considerado o ano-padrão confortável por ter apresentado todos os meses com predominância de valores dentro da classe de conforto térmico, com todos os meses registrando acima de 60% de horários de conforto. Os resultados obtidos para o ano de 2021 não apresentam forte precisão, tendo em vista o número de horários sem registro das variáveis.

Figura 06 – Confortograma: Valores médios do *Discomfort Index* (DI) 2008-2022

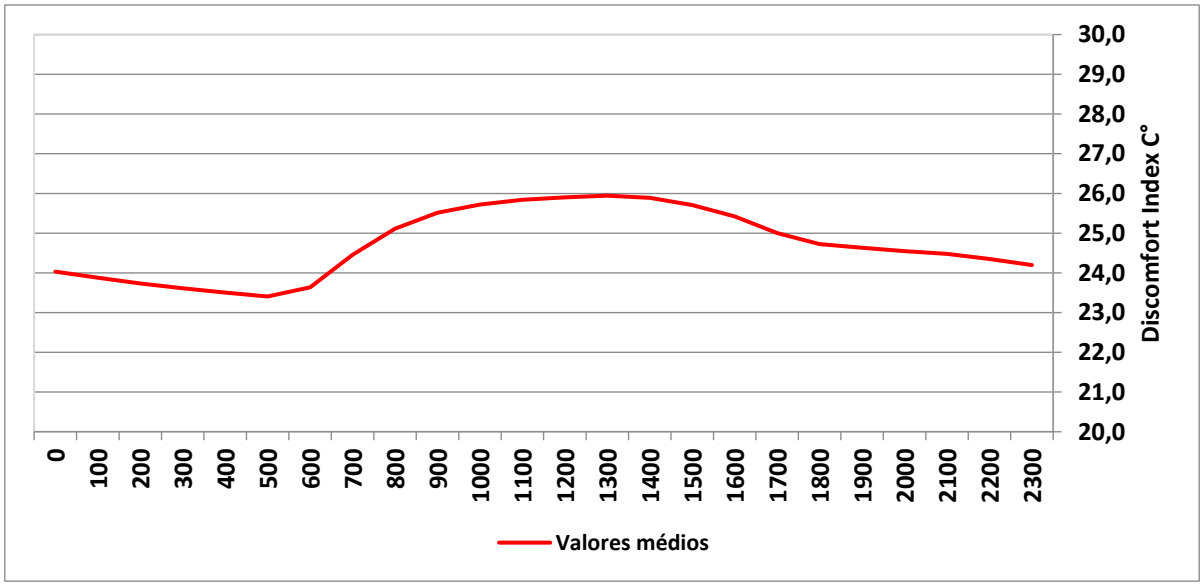


Fonte: INMET, 2020 Elaboração: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

A partir da análise da Figura 07, pode-se perceber uma tendência positiva começando às 7h. Os valores de DI vão aumentando até atingir seu pico entre 12h e 13h e, a partir das 15h, começam a decair novamente. No período da madrugada, os valores permanecem estáveis e caem um pouco por volta das 04h e 05h, onde geralmente são registradas as temperaturas mínimas diárias. No período noturno, os valores do ID são menores que no período diurno, mas é possível verificar que continuam elevados, mesmo que ainda dentro da zona de conforto.

Sabe-se que, a princípio, quanto maior a temperatura do ar maior o desconforto para o calor. No índice utilizado neste estudo, a umidade também é analisada, pois a combinação de temperaturas e umidade elevadas geram situações desconfortáveis de calor.

Figura 07 – Média horária do ID 2008 a 2022 na cidade de João Pessoa



Fonte: INMET (2020). Organização: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

Se tratando de valores absolutos do DI (Quadro 05), abril é o mês mais desconfortável dos anos estudados. Abril está inserido como o mês inicial do quadrante chuvoso em João Pessoa, o que pode explicar porque ele encontra- se nessa posição, já que ele está saindo da estação quente e “seca” da cidade, com temperaturas elevadas, e entrando na estação úmida, com maior umidade, onde acontecem os maiores índices pluviométricos.

Quadro 05 – Valores horários máximos absolutos por meses da série

	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
2008	27,2	28	27,5	27,4	27,5	26,5	25,8	25,6	26,2	26,3	27,2	27,1
2009	27,4	27,4	28	27,9	27,5	27	26,5	26,6	26,6	26,6	27,1	27,4
2010	27,9	27,9	28,4	28,6	28	27,3	26,6	25,4	25,9	26,7	27,1	26,9
2011	27,3	27,5	27,8	27,8	27,3	26,4	26	25,9	25,9	26,6	26,8	26,8
2012	27	26,8										27,4
2013	27,7	28	27,8	28	27,6	26,9	26,4	26,4	26,3	27,3	26,9	27,6
2014	27,5	27,8	28,3	28,3	27,9	27,2	26,5	26,5	26,8	27	27,3	27,2
2015	27,3	27,9	28	28,4	27,8	26,9	26,9	26,8	26,7	27	27,5	27,6
2016	28,2	28,3	28,3	28,4	28,1	28	26,6	26,9	26,9	26,7	27,5	27,9
2017	27,6	28,2	28,2	28,1	28,2	27,9	26,4	26,2	26,5	26,8	27,5	27,7
2018	27,6			27,4	27,5	27	26,1	26,4	26,6	27,5	27,6	27,8
2019	27,9	28,3	28,6	28,7	28,2	27,2	27,2	26,9	26,4	27	27,3	27,7
2020	28,1	28,7	28,2	29,1	28,5	27,3	26,6	26,3	27,5	27,2	27,1	27,6
2021	27,5	27,5	27,9	27,6	27,1		26,7		27,0		27,7	27,9
2022	28,0	28,2	28,4	28,3	28,2	27,6	26,9	27,0	27,1	27,4	27,2	27,7

Legenda: Valores com a cor vermelha correspondem aos valores máximos encontrados em cada mês da série.

Fonte: INMET, 2022. Organização: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

A área de estudo tem grande potencial para episódios de desconforto térmico, pois como está inserida perto da linha do Equador, a temperatura na cidade é quase sempre elevada, e por causa do efeito da maritimidade, a umidade também. Quando há um índice elevado de umidade, a perspiração do indivíduo, isto é, o mecanismo de termorregulação da pele, através da evaporação (suor), fica comprometida, pois o ambiente não “aceita” essa umidade que o corpo está devolvendo (SOUZA et al., 2012). Essa alta umidade, combinada com altas temperaturas, gera um extremo desconforto térmico na população, como evidenciado em estudo para a cidade de Santarém-PA (SANTOS et al. 2018).

A partir do quadro síntese dos dez maiores valores episódios do DI (Quadro 06) é possível observar algumas situações no comportamento da variável DI, como: o horário das 12h aparece em quase todos os maiores episódios de desconforto para o calor na série escolhida, isso se dá porque é nesse horário em que acontece a maior incidência de radiação solar na localização da área de estudo. Apenas um episódio do *ranking* encontra-se no horário das 9h, em que percebe-se que a temperatura e a umidade estavam elevadas em seus valores máximos aquele dia.

Outro ponto interessante para observar é que os episódios concentram-se nos últimos três anos da série e isso pode ser um indicio que o clima de João Pessoa está ficando mais desconfortável, assim como já eram as previsões para as cidadesdo Nordeste nos relatórios do IPCC AR5 E AR6, respectivamente (IPCC 2014, 2021).

Quadro 06 – Quadro síntese dos dez maiores episódios encontrados na série 2008-2022

					VALORES MÉDIOS			TEMPERATURA C°			UMIDADE RELATIVA %		
RANKING	EPISÓDIO	DI	HORA	ANO	MÊS	DIA	HORA	MÉD	MÁX	MÍN	DIA	MÁX	MÍN
1º	06/04/2020	29,1	12h	25,0	25,8	26,8	26,5	28,9	33,0	26,4	75	89	60
2º	29/02/2020	28,7	12h	25,0	26,1	26,5	26,5	28,5	32,1	24,5	75	92	61
3º	06/04/2020	28,7	14h	25,0	25,8	26,8	25,9	28,9	33,0	26,4	75	89	60
4º	17/04/2019	28,7	9h	24,8	25,6	25,9	25,5	28,1	32,1	24,8	78	91	65
5º	02/04/2010	28,6	12h	25,1	25,9	26,9	25,9	29,7	33,0	27,4	72	82	59
6º	13/03/2019	28,6	10h	24,8	25,8	26,4	25,7	28,8	31,7	27,1	78	84	64
7º	09/04/2020	28,6	11h	25,0	25,8	26,3	25,8	28,8	32,8	24,7	75	91	59
8º	15/03/2019	28,5	12h	24,8	25,8	25,6	25,9	28,4	31,8	25,8	75	92	64
9º	21/03/2019	28,5	13h	24,8	25,8	26,5	25,9	28,7	32,4	25,5	79	90	66
10º	09/04/2020	28,5	12h	25,0	25,8	26,8	25,9	28,8	32,8	24,7	75	91	59

Fonte: INMET (2020) Organização: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

4.1 PRANCHAS RÍTMO CLIMÁTICO

Partindo da escolha dos dez maiores episódios de desconforto para o calor em João Pessoa, foram geradas dez pranchas contendo gráficos de análise rítmica.

Episódios 1, 3, 7 e 10:

A prancha 01 é formada pelos episódios 1, 3, 7 e 10 que estão concentrados nos mesmos dias (06/04/2020 e 09/04/2020), mas em diferentes horários (11h, 12h e 14h). No gráfico A, foram registradas temperaturas elevadas principalmente nos períodos diurnos, e em relação ao desconforto térmico, nota-se que o mesmo se comportou de forma semelhante a temperatura do ar, visto que seus horários de pico em todos os dias foram registrados entre as 12h e 13h. Não houve volume de precipitação significante. Nos dias posteriores ao episódio houve predominante mente céu estável, umidade relativa do ar pouco abaixo da média. Como auxílio das imagens de satélite, foi constatado que a o sistema atmosférico atuantena região em

que se encontra a área de estudo foi a Massa Equatorial Atlântica.

No dia 06/04/2020, pode-se ver que as temperaturas elevam-se a partir das 7h às 14h, com pico de temperatura às 13h registrando 33,3C° e DI de 29,1C° às 12h. A massade ar atuante foi a Massa Equatorial Atlântica. Essa conclusão se deu pelas características climatológicas desse episódio e da própria massa de ar.

Episódio 2:

A prancha 02 apresenta a oscilação das variáveis do dia 26/02/2020 a 03/03/2020. Nos primeiros dias, apesar da proximidade da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), devido ao seu deslocamento sazonal, foi registrado pouco volume de precipitação, e a partir da carta sinótica das 12h, pode-se observar a proximidade da isóbara 1012, que geralmente está associada a mEa (massa Equatorial Atlântica). A velocidade do vento foi registrada com intensidade média de 0,7 (m/s) e nebulosidade ⅜. Em relação a temperatura, no gráfico A pode-se observar o comportamento semelhante a semana do episódio 1, ou seja, temperaturas elevadas nas horas de maior incidência de radiação solar.

Episódio 4:

A prancha 03 é formada pela semana do episódio 4, que corresponde aos dias 13/04/2019 a 20/04/2019. No gráfico A, no dia 17 é possível notar um aumento da temperatura a partir das 7h. No dia do episódio, o horário das 9h já apresenta temperatura elevada (32°C), sendo também a temperatura máxima da semana, o que não corresponde ao comportamento médio da temperatura (25,5°C) do ar no horário das 9h na série analisada.

Além disso, foi neste horário em que foi registrada a temperatura máxima do dia e também um valor de desconforto térmico de 28,7°C. No último dia da semana analisada, ocorreu uma precipitação significativa de 37,8mm as 12h, o que pode colaborar para o aumento do desconforto térmico sentido pela população. Apesar das perturbações nas áreas circundantes, o tempo manteve-se estável na maior parte da semana do episódio, o que indica uma maior atuação da mEa (massa Equatorial atlântica).

Episódio 5:

A prancha 04 é formada pela semana em que ocorreu o episódio 5, que corresponde ao dia 30/03/2010 a 05/04/2010. Ao longo da semana foram registradas poucas precipitações e temperaturas elevadas alinhadas a umidade na faixa média de 60%. É importante destacar que a combinação de altas temperaturas e baixa velocidade do vento, principalmente durante as horas de maior incidência de radiação solar, pode resultar em situações de desconforto térmico para o calor.

No dia do episódio, as condições mostraram-se semelhantes aos dias anteriores e mantiveram-se estáveis nos dias posteriores. Com base em todos esses fatores, chegou-se à possibilidade de que o sistema atmosférico predominante, tanto naquela semana quanto durante o episódio 5, foi a massa Equatorial Atlântica (mEa).

Episódio 6 e 8:

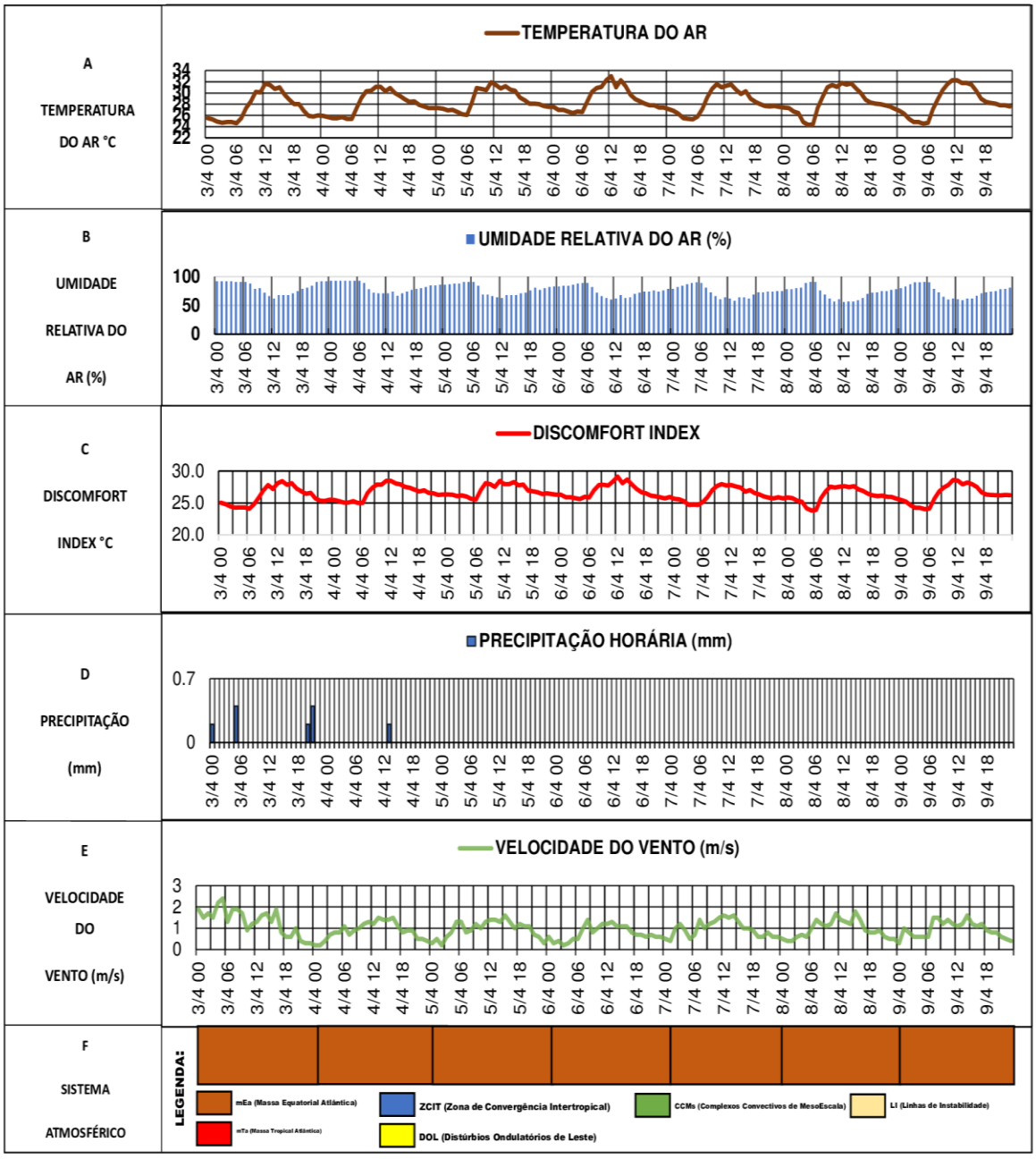
A prancha 05 é formada pela semana em que ocorreu o episódio 6 e 8, que corresponde ao dia 10/03/2019 a 17/03/2019. Assim como nos outros episódios, a temperatura do ar permaneceu no seu comportamento típico, com elevação as 9h e pico as 12h. Com relação a precipitação, no dia 14 ocorreu uma precipitação fraca de 15,6mm que era esperada visto que a ZCIT estava em atuação em localidades próximas, mas que pelo volume percebe-se que as instabilidades foram se dissipando ao longo do percurso. Portanto, atuação predominante da mEa e pouca atuação da ZCIT.

Episódio 9:

A prancha 06 é formada por três dias antecedentes ao episódio 9 (18, 19 e 20 de março de 2019), pelo dia do episódio 9 que aconteceu em 21/03/2019 e por três dias posteriores (22, 23 e 24 de março de 2019). Os valores encontrados de todas as variáveis do episódio mostraram-se semelhantes aos encontrados em outros episódios. Novamente o mês de março entrando em evidência em relação ao

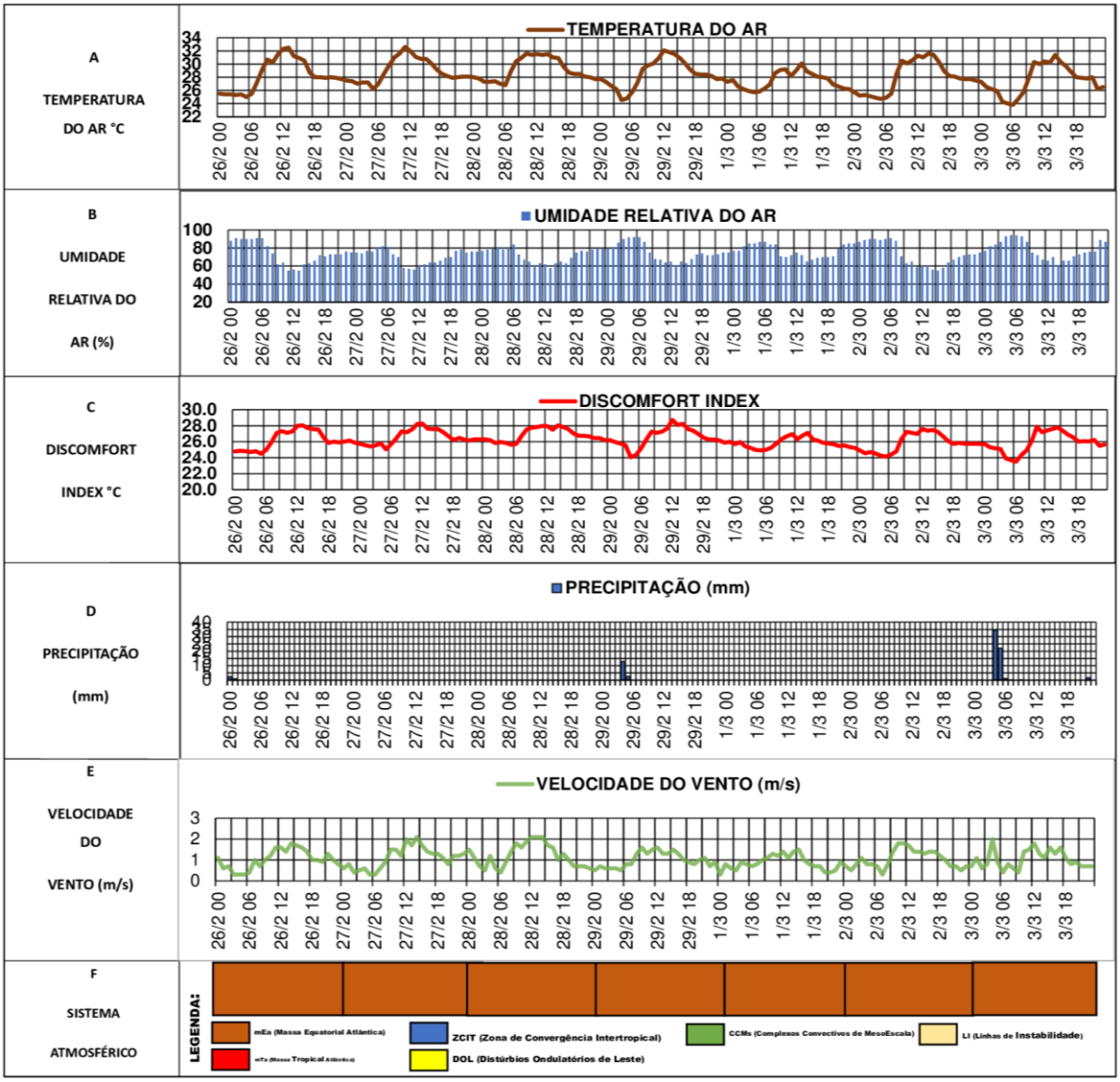
desconforto térmico, principalmente nos horários das 12h e 13h. No primeiro dia da semana do episódio foram registrados valores de precipitação, entretanto, apresentou-se como sendo de pouco volume. A partir do dia 19, o tempo permaneceu estável e por fim no dia 22, outra precipitação de pouco volume também. Atuação predominante da mEa com participação da ZCIT.

Prancha 01 – Atributos climáticos: semana episódio 1, 3, 7 e 10 (03/04/2020 – 09/04/2020)



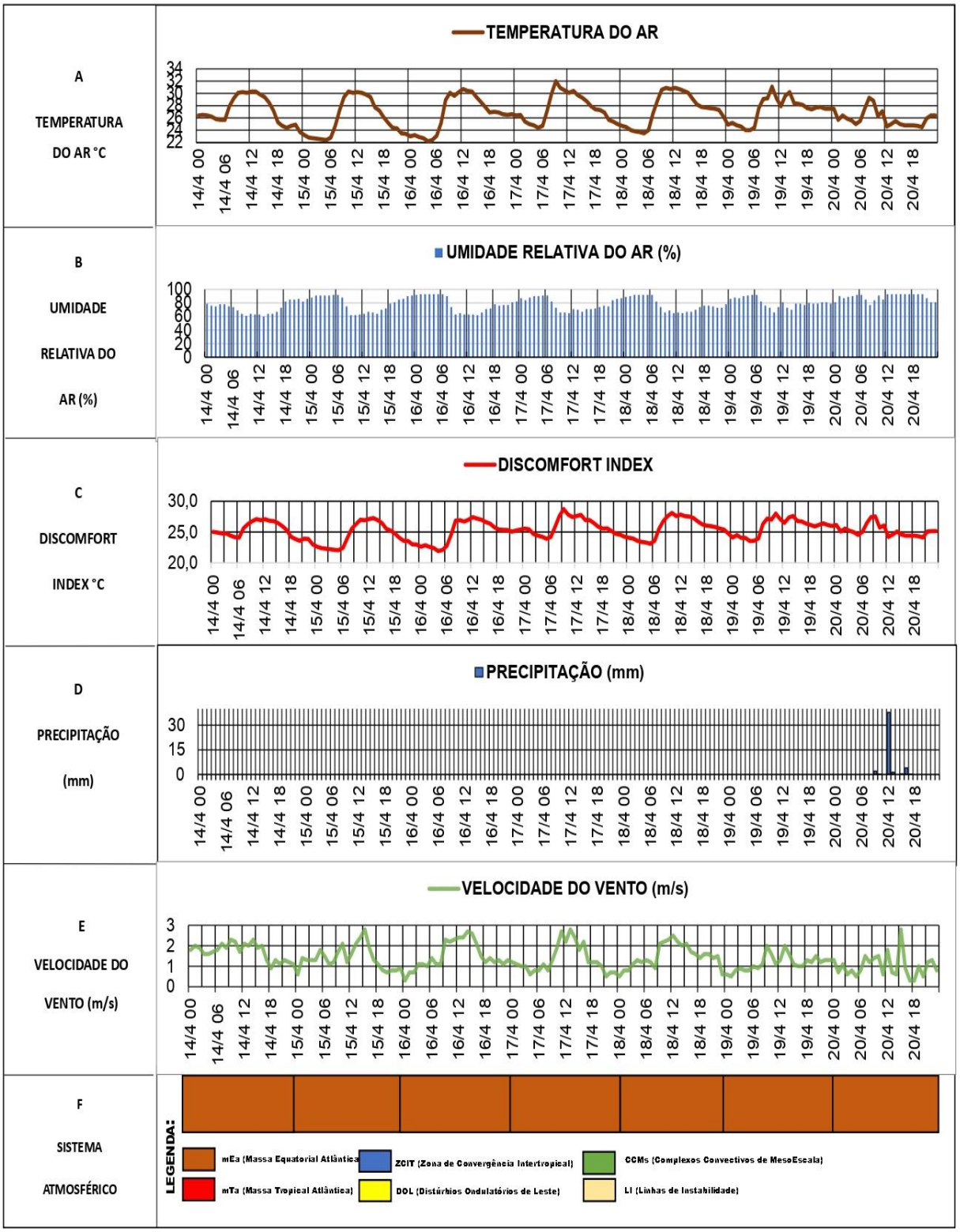
Fonte: INMET. Elaboração: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

Prancha 02 – Atributos climáticos: semana episódio 2 (26/02/2020 – 03/03/2020)



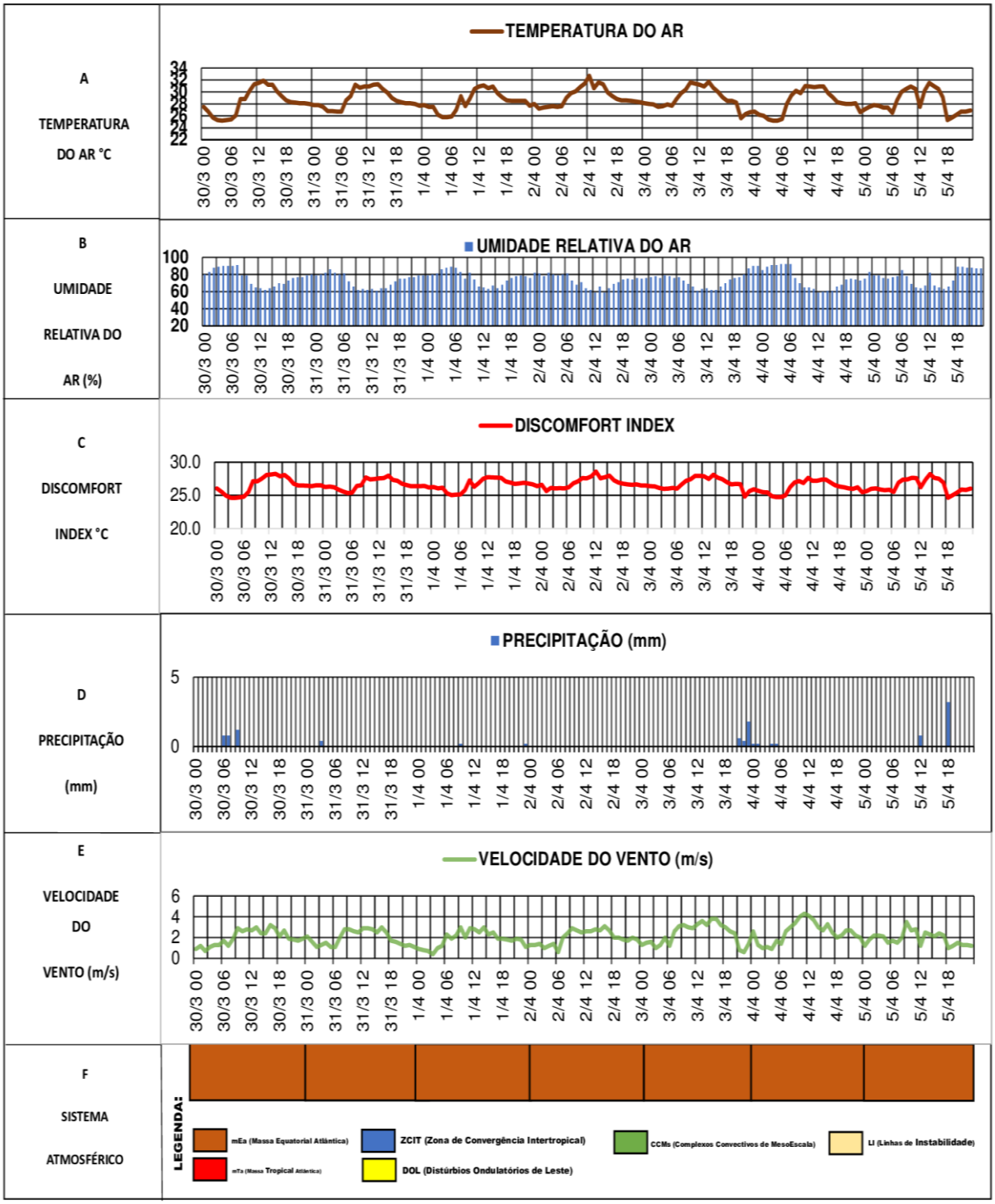
Fonte: INMET. Elaboração: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

Prancha 03 – Atributos climáticos: semana episódio 4 (13/04/2019 – 20/04/2019)



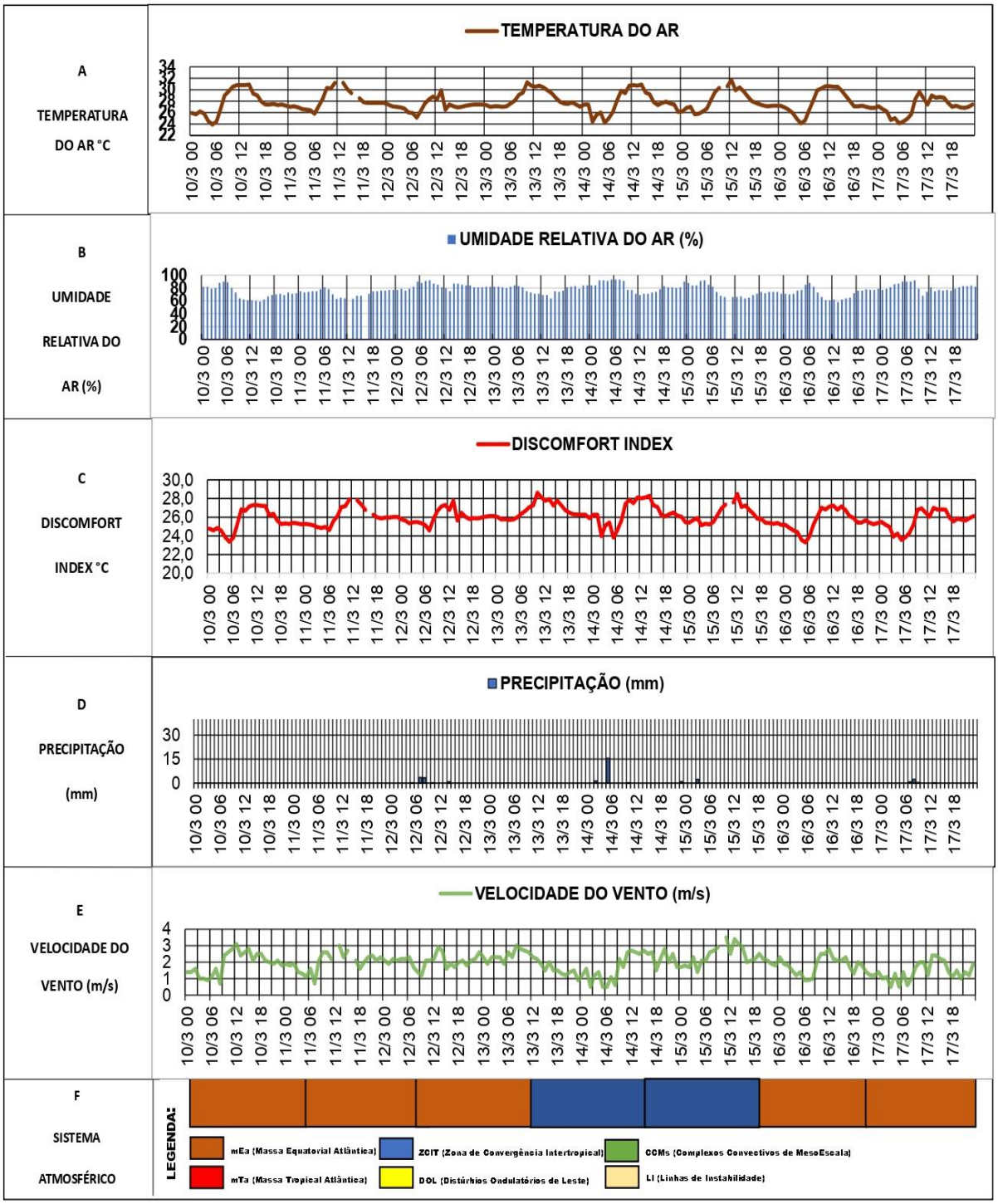
Fonte: INMET. Elaboração: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

Prancha 04 – Atributos climáticos: semana episódio 5 (30/03/2010 – 05/04/2010)



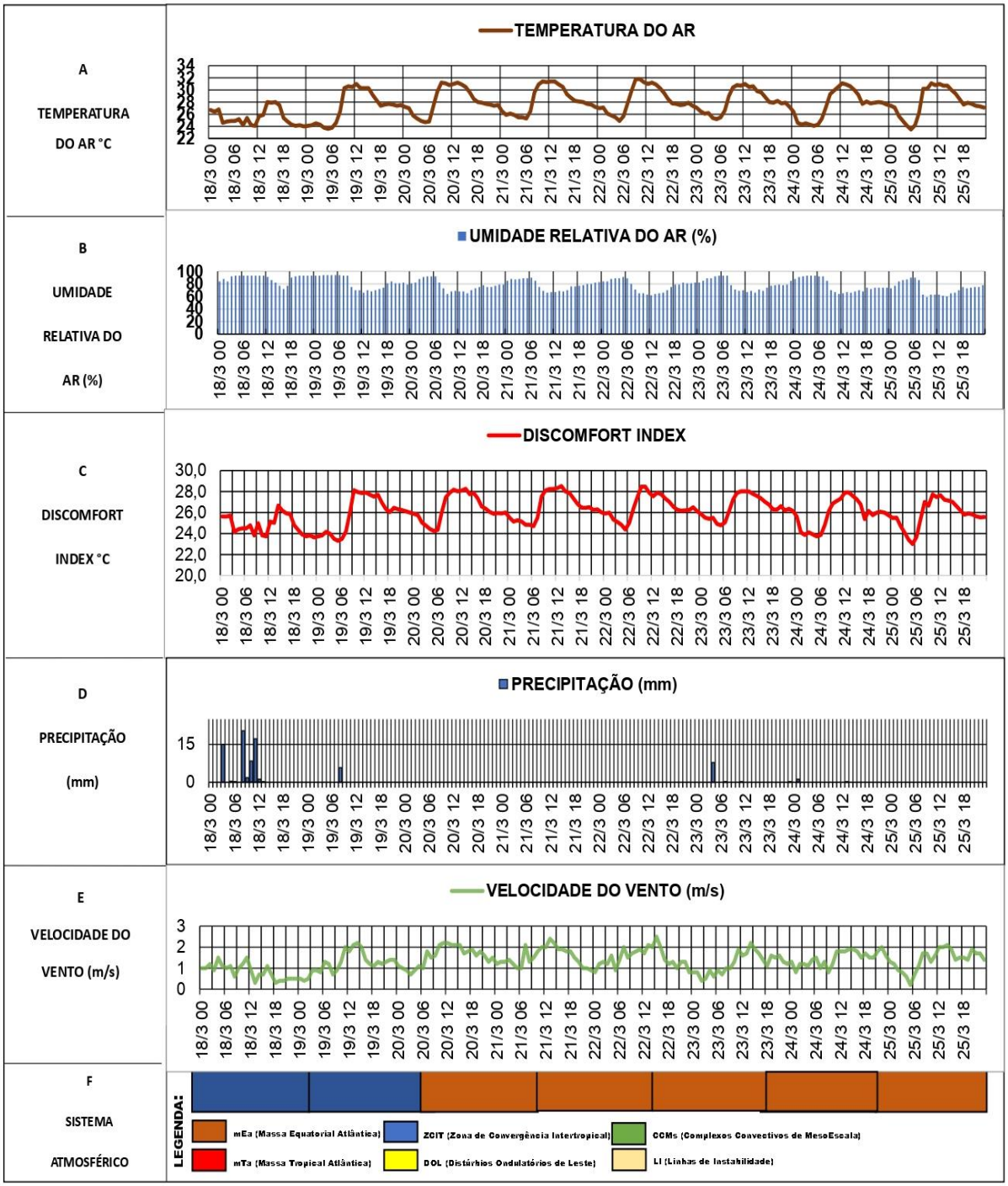
Fonte: INMET. Elaboração: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

Prancha 05 – Atributos climáticos: semana episódio 6 e 8 (10/03/2019 – 17/03/2019)



Fonte: INMET. Elaboração: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

Prancha 06 – Atributos climáticos: semana episódio 9 (18/03/2019 – 25/03/2019)



Fonte: INMET. Elaboração: Bhreenda Mayhara da Silva Santos, 2024

A partir da analíse das pranchas de ritmo climático foi verificado uma maior atuação da massa Equatorial Atlântica, seguido da Zona de Convergência intertropical que foi atuante no período habitual da área de estudo (mês de março). Tomando como

base o gráfico A de todas as pranchas, nota-se que a temperatura do ar apresenta elevação as 7h, com pico as 12h e atenuação a partir das 15, entretanto, mesmo no período noturno, mantém-se elevada. O mesmo comportamento pôde ser observado em relação ao *discomfort index,* em que 4 episódios foram registrados no horário das 12h. Sabendo que a velocidade do vento influencia fortemente o desconforto térmico sentido pela população, observa-se que a variável manteve-se entre 1 e 4 m/s em todos os episódios, o que intensifica mais ainda a sensação de desconforto visto que essa velocidade do vento, segundo a escala Beaufort, corresponde a uma brisa fraca.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados da presente pesquisa, a população residente na cidade de João Pessoa, no período estudado (2008- 2022), presenciou eventos de desconforto para o calor, especialmente nos meses do verão e do outono. E os episódios de maior desconforto na cidade ocorreu nos últimos três anos da série. Apesar da média anual dos valores de *Discomfort Index* ser de 24,8 ºC, classificado na zona deconforto, é preciso observar a variação a nível horário para se ter um panorama mais assertivo do comportamento do índice na área de estudo, bem como a identificação dos sistemas atuantes produtores dos eventos de desconforto térmico na cidade.

O horário das 12h foi o mais representativo como sendo desconfortável no período de 2008 a 2022, podendo ser explicado pela latitude em que João Pessoa encontra-se, uma vez que é nesse horário em que há maior incidência de radiação solar.

O mês de abril foi considerado o mais desconfortável de toda a série. Sendo um mês de transição entre os meses mais quentes e os meses mais chuvosos. Assim, abril apresenta elevadas temperaturas e altos índices de umidade relativa. Com relação ao conforto, a partir do confortograma verificou-se que o mês de agosto pode ser considerado o mais confortável de toda a série.

Por fim, torna-se necessário estudos mais aprofundados, se possível com estudos envolvendo questionários aplicados com a população para, de fato, validar o estudo e investigar as possíveis causas para o desconforto térmico em cidades de clima tropical de baixa latitude.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, GA, 2013.

AYOADE, Johnson Olaniyi. Introdução à climatologia para os trópicos. 4. ed. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

DA SILVA, Liliane Flávia Guimarães; DE SOUSA, Lucas Barbosa. Seleção de anos-padrão para análise rítmica em estudos de conforto térmico: uma proposta de "Confortogramas" a partir de índices. Revista Brasileira de Climatologia, v. 20, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Disponível em: http://www.cptec.inpe.br. Acesso em: 22 out. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em: http://www.inmet.gov.br. Acesso em: 22 out. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In Press. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team: R.K. Pachauri; L.A. Meyer (eds.). Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

KRÜGER, Eliane. Efeito de uma onda de calor na aclimatação no curto prazo em trabalhadores urbanos. Ambientalmente, [S.l.], v. 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ac/a/TznWCnTVzN568S38wGZWsLb/ . Acesso em: 3 out. 2024.

LOPES, Luiz Otávio de Oliveira. Avaliação de conforto térmico durante o verão em centros de interpretação ambiental no contexto transfronteiriço (Portugal - Espanha). 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Bragança, Bragança, 2020. Disponível em: https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/21075 . Acesso em: 14 set. 2024.

MASIERO, Érico; SOUZA, Léa Cristina Lucas de. Ocupação do solo e microclimas em São José do Rio Preto, SP. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2015.

MANDÚ, Tiago Bentes et al. Efeito do conforto térmico na ocorrência de doenças cardiovasculares em diferentes grupos etários em Santarém-PA. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar, v. 2, n. 4, p. e24249, 2021.

MARTINI, Angeline; BIONDI, Daniela. Análise do microclima e conforto térmico de diferentes ambientes urbanos em Curitiba, PR. Floresta e Ambiente, v. 22, n. 3, p. 377–387, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/j/floram/a/Q4n8qCVMmpFy85xjsKSVfgQ

. Acesso em: 8 jul. 2025.

OLIVEIRA, Nicole Alves. Conforto térmico urbano em assentamentos do semiárido mineiro: estudo de caso do bairro Nova República, Janaúba/MG. 2021. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/38855
. Acesso em: 1 jan. 2025.

RIBEIRO, Luciana Pagnano. Conforto térmico e a prática do projeto de edificações. Semantics Scholar, 2008. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/00bb/1799cd16d1349b37c3d5d0ac94bafdd76a3d.pdf
. Acesso em: 9 jun. 2025.

SILVA, Isadora Mendes da; OLIVEIRA, Ana Carolina. Recursos naturais de conforto térmico: um enfoque urbano. ResearchGate, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332829258
. Acesso em: 23 jun. 2025.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. A climatologia geográfica no Brasil e a proposta de um novo paradigma. p. 61-153, 2015.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. Climatologia, n. 1, p. 1-21, 1971.

PETALAS, Kety Vasconcelos. Estudo da sensação térmica e definição de limites de conforto para espaços abertos na cidade de Fortaleza, CE. 2015. 272 p. Tese. Revista Brasileira de Climatologia, v. 20, p. 70, 2017.

SANTOS, Joel Silva dos et al. Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida. 2011.

SOUZA, Débora Moreira de et al. O conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. Geografia (Londrina), v. 21, n. 2, p. 65–83, maio/ago. 2012. Disponível em: https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/9798/13484
.

SORRE, Max. Introduction-Livre Premier: Climatophysique e Climatochimie. In: PIERRY, or. Traité de Climatologie Biologique et Médicale. Tome I, p. 1–9, 1934.