

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LUCAS SUASSUNA DE ALBUQUERQUE WANDERLEY

**PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO NORDESTE DO  
BRASIL BASEADA NA ABORDAGEM SINÓTICA DOS TIPOS DE TEMPO**

Recife

2020

LUCAS SUASSUNA DE ALBUQUERQUE WANDERLEY

**PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO NORDESTE DO  
BRASIL BASEADA NA ABORDAGEM SINÓTICA DOS TIPOS DE TEMPO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Geografia.

**Área de Concentração:** Regionalizações e Análise Regional

Linha de Pesquisa: Dinâmica superficial e climática das paisagens naturais tropicais úmidas e semiáridas

**Orientador:** Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega

Recife

2020

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

W245p Wanderley, Lucas Suassuna Albuquerque.  
Proposta de classificação climática da Região Nordeste do Brasil baseada na abordagem sinótica dos tipos de tempo / Lucas Suassuna Albuquerque Wanderley. – 2020.  
216 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2020.  
Inclui referências.

1. Geografia. 2. Climatologia. 3. Classificação climática. 4. Brasil, Nordeste. I. Nóbrega, Ranyére Silva (Orientador). II. Título.

910 CDD (22. ed.) UFPE (BCFCH2021-107)

LUCAS SUASSUNA DE ALBUQUERQUE WANDERLEY

**PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO NORDESTE DO  
BRASIL BASEADA NA ABORDAGEM SINÓTICA DOS TIPOS DE TEMPO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em geografia.

Aprovada em: 26/08/2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega (Orientador – Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Emerson Galvani (Examinador Externo)  
Universidade de São Paulo

---

Prof. Dr. Eberson Pessoa Ribeiro (Examinador Externo)  
Instituto Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Cristiana Coutinho Duarte (Examinadora Externa)  
Universidade Federal de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia por todos os meios disponibilizados para a elaboração do estudo.

Ao Grupo de Estudos em Climatologia Tropical e Eventos Extremos (Tropoclima), por uma importante fase da minha formação acadêmica, nas pessoas do meu orientador, Ranyére Silva Nóbrega, dos amigos e parceiros de estudos climáticos, Rafael Silva dos Anjos, Ayobami Badiru Moreira, Joselma Araújo de Lucena, Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos, Henrique dos Santos Ferreira, Elvis Berg Mariz Moreira e à professora Cleusa Zamparoni.

Ao professor Rômulo Simões César de Menezes pelas orientações ao longo da minha trajetória acadêmica.

Ao Instituto Federal de Alagoas (IFAL) pelos meios disponibilizados para a realização desta tese, e aos meus colegas de trabalho por todo o apoio.

Aos meus queridos avós Zélia de Andrade Lima Suassuna, Ariano Vilar Suassuna, Maria da Salete de Albuquerque Wanderley e Antônio Carlos Wanderley, por todos os ensinamentos de vida.

Aos meus mestres sertanejos Germana Vilar Suassuna e Manoel Dantas Vilar Filho, pelas conversas e reflexões que muito me auxiliaram ao longo da vida acadêmica.

Aos meus pais Ana Rita Suassuna Wanderley e Roberto de Albuquerque Wanderley por serem os meus maiores exemplos, incentivadores e amigos. Às minhas irmãs Júlia Suassuna de Albuquerque Wanderley e Inês Suassuna de Albuquerque Wanderley pela parceria e amizade.

À minha noiva Eduarda Correia Moretti por todo o companheirismo, pelas conversas filosóficas, ensinamentos metodológicos e pela grande ajuda na revisão do trabalho.

A todos os meus tios e primos por tanto incentivo, apoio e torcida, nas pessoas de Ester Suassuna Simões, pela ajuda de sempre nas revisões de texto, e Joaquim de Andrade Lima Suassuna, por ter sido um grande incentivador dos meus estudos. Aos meus primos-sobrinhos nas pessoas dos meus afilhados Matias Simões Reis e Maria Júlia Otaviano de Souza Suassuna, pelas grandes alegrias proporcionadas nos últimos tempos.

A todos os grandes amigos, nas pessoas de Rafael Lins Montenegro, Catarina Fernandes da Cunha, Roberto Correia Moretti, Raissa Jordão Alves, Manuella Lapenda Veiga, Gabriel José Dubeux Neves e Ivan Luís Lima Cavalcanti, que compreenderam os momentos de ausência necessária e por sempre estarem na torcida para que tudo desse certo.

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo a elaboração de uma classificação climática para a Região Nordeste (NE) do Brasil com base na abordagem sinótica dos tipos de tempo. Apesar de ser uma abordagem primordial, a regionalização climática não é uma análise esgotada pelos estudos existentes. Em especial, nessa região, as lacunas teóricas e metodológicas para análises genéticas na climatologia representam um problema para o aprimoramento e aplicação de estudos derivados dessas abordagens. Foi utilizada a metodologia dos tipos sinóticos de tempo para identificação e caracterização das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados, típicos da Região Nordeste. Para isso, foi aplicada a análise estatística multivariada consorciada à análise manual (a partir do estudo dos tipos de tempo e da dinâmica das massas de ar). Foi realizada uma Análise de Componentes Principais (ACP), seguida por uma Análise de Agrupamento Hierárquica (AAH) de Ward. No primeiro momento, essas análises tiveram como objetivo elaborar um agrupamento sazonal (a partir de oito variáveis climáticas) e identificar os dias sinóticos típicos, correspondentes à atuação de cada massa de ar ou sistema sinótico individualizado, para um grupo de estações meteorológicas centroides. Em uma segunda etapa, os mesmos métodos estatísticos foram aplicados para realizar a caracterização e determinar a frequência dos tipos de tempo nas demais estações meteorológicas de todos os grupos sazonais previamente estabelecidos. O agrupamento climático final das estações meteorológicas do Nordeste Brasileiro se baseou na AAH das frequências de atuação dos sistemas sinóticos. Em análise complementar, foram investigadas as tendências de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação para os tipos climáticos por meio do método de Mann-Kendall. Como resultado, foi proposta a regionalização climática de nove tipos climáticos: tropical úmido do NE setentrional, tropical úmido do NE oriental, tropical semiúmido do NE oriental, tropical semiúmido do NE ocidental, tropical semiúmido do NE setentrional, tropical semissecado do NE oriental, tropical semissecado do NE central e tropical semissecado do NE ocidental. O mapeamento dos tipos de climas considerou a existência de relações entre as principais fitofisionomias e o relevo com a dinâmica climática regional. Para cada região climática foram descritas as características climáticas genéticas, estáticas e fitofisionomias associadas. Os climas semissecos representaram 47,8% da área da Região Nordeste do Brasil, os climas semiúmidos 38,5% e os climas úmidos 13,7%. A atual proposta de síntese climática possui aplicabilidade para estudos ambientais, além de agregar técnicas de regionalização às abordagens da climatologia geográfica.

Palavras-chave: Classificação de climas. Tipos sinóticos de tempo. Região Nordeste do Brasil.

## ABSTRACT

The present study aimed to develop a climate classification for the Northeast Region of Brazil based on the synoptic climate types approach. Despite being a primary approach, climate regionalization is not an exhausted analysis by existing studies. Particularly, in the study area, the theoretical and methodological gaps for climatological genetic analysis is an obstacle for the improvement and application of studies derived from them. The methodology of synoptic weather types was utilized in order to identify and characterize the air masses and individualized typical synoptic systems of the Northeast Region of Brazil. For this, multivariate statistical analysis combined with manual analysis (based on the study of weather types and the dynamics of air masses) were applied for the climatic classification. Principal Components (PC) analysis was performed, followed by Ward's Hierarchical Cluster analysis (HCA). At first, these analyzes aimed to develop a seasonal grouping (from eight climatic variables) and to identify typical synoptic days, corresponding to the behavior of each individual air mass or synoptic system for a group of centroid meteorological stations. In a second stage, the same statistical methods were applied to carry out the characterization and to determine the frequency of the weather types (for the other meteorological stations in each previously defined seasonal groups). The final climatic grouping of meteorological stations in Northeast Brazil was based on the HCA of the frequencies of the acting synoptic systems. In a complementary analysis, the trends of temperature, relative humidity and precipitation were investigated for the climatic types by the Mann-Kendall method. As a result, a climatic regionalization of nine climatic types in Northeast Brazil was proposed. The mapping of climatic types considered an existing relation between the main phytogeographies and the relief with the regional climatic dynamics. For each climatic region, genetic and static climatic characteristics, as well as their associated phytogeographies, were described. Semi-dry climates represented a frequency of 47.8% of the area of the Northeast Region of Brazil while semi-humid and humid climates, expressed 38.5% and 13.7% respectively. The current climate classification proposal has applicability for environmental studies as well as it contributes with techniques of regionalization to the Geographical Climatology approaches.

**Keywords:** Climate classification. Synoptic weather types. Northeast Region of Brazil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Regiões de atuação das massas de ar na América do Sul no verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D).....	27
Figura 2 - Climas do Brasil (A) e massas de ar (B) que atuam na América do Sul. ....	30
Figura 3 - Distribuição de frequência dos tipos de vegetação tropical que podem compor um mesmo bioma em função do gradiente de precipitação média. ....	47
Figura 4 - Precipitação média anual para a região tropical entre os anos de 1998-2009 obtida a partir da estimativa do satélite Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) produto 2B31. ....	53
Figura 5 - Fluxograma metodológico da classificação climática sinótica para a Região Nordeste.....	74
Figura 6 - Localização da área de estudo, das estações meteorológicas e dos biomas da Região Nordeste do Brasil. ....	80
Figura 7- Mapa de fitofisionomia (com cobertura primitiva) na Região Nordeste do Brasil.....	82
Figura 8 - Altitude (m) e as principais geomorfológicas correspondentes às terras altas. ....	85
Figura 9 - Classes principais de solos (adaptada - retido apenas o primeiro nível de classificação) na Região Nordeste do Brasil. ....	91
Figura 10 - Grupos climáticos sazonais de primavera (A), verão (B), outono (C) e inverno (D), e respectivas estações centroides para a Região Nordeste do Brasil. ....	92
Figura 11 - Cartas sinóticas de superfície do continente sul americano para os dias 03/03/2010 (A) e 25/02/2015 (B) às 18h UTC.....	109
Figura 12 - Cartas sinóticas de superfície do continente sul americano para os dias 08/05/2009 (A) e 16/05/2013 (B) às 18h UTC.....	111
Figura 13 - Cartas sinóticas de superfície do continente sul americano para os dias 01/08/2014 (A) e 27/07/2017 (B) às 18h UTC.....	113
Figura 14 - Cartas sinóticas de superfície do continente sul americano para os dias 05/11/2013 (A) e 12/11/2017 (B) às 18h UTC.....	115
Figura 15 - Escores dos Componentes Principais (CP1, CP2, CP3 e CP4) relativos aos regimes climáticos decorrentes das frequências das massas de ar e sistemas sinóticos no Nordeste do Brasil entre 1980 e 2017. ....	121
Figura 16 - Tipos climáticos classificados para a Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017) de acordo com o agrupamento dos tipos sinóticos de tempo.....	123

Figura 17 - Frequência sazonal média das massas de ar e dos sistemas sinóticos individualizados associados aos tipos climáticos do NEB para as janelas sazonais entre 1980 e 2017.....	130
Figura 18 - Frequências médias de atuação na janela sazonal de verão da mTA1 (A), mEC (B) e ZCIT (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017).....	133
Figura 19 - Frequências médias de atuação na janela sazonal de outono da mTA (A), mTA1 (B) e ZCIT (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017). ....	1365
Figura 20 - Frequência médias de atuação na janela sazonal de inverno da mTAC (A), mTC (B) e mTA1 (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017).....	1398
Figura 21- Frequências médias de atuação na janela sazonal de primavera de mTAC (A), mTA1 (B) e ZCAS (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017).....	14140
Figura 22 - Médias mensais de temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e precipitação para as regiões climáticas do Nordeste Brasileiro entre 1980 e 2017.....	14443
Figura 23 - temperaturas máximas e mínimas diárias desde 01/01/1993 até 31/12/2017 para os tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H). ....	15857
Figure 24 - séries temporais (1993 - 2017) diárias médias de umidade relativa do ar referentes aos tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H). ....	165
Figura 25 - séries temporais diárias (1993-2017) de precipitação referentes aos tipos climáticos 1 (A),2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E),7 (F), 8 (G) e 9 (H). ....	172
Figura 26 - Diagrama para clima tropical úmido do NE setentrional (1980 - 2017). ....	178
Figura 27 - Diagrama para o tipo climático tropical úmido do NE oriental (1980 - 2017)....	179
Figura 28 - Diagrama para o tipo climático tropical úmido do NE meridional (1980 - 2017). ....	180
Figura 29 - Diagrama para o tipo climático tropical semissecado do NE oriental (1980 - 2017). ....	181
Figura 30 - Diagrama para o tipo climático tropical semissecado do NE central (1980 - 2017). ....	182
Figura 31 - Diagrama para o tipo climático semissecado do NE ocidental (1980 - 2017). ....	183
Figura 32 - Diagrama para o tipo climático semiúmido do NE oriental (1980 - 2017). ....	184
Figura 33 - Diagrama para o tipo climático tropical semiúmido do NE ocidental (1980 - 2017). ....	185

Figura 34 - Diagrama para o tipo climático semiúmido do NE setentrional (1980 - 2017)...	186
Figura 35 - Regiões climáticas do Nordeste Brasileiro (1980 - 2017). .....	188
Figura 36 - Sobreposições das regiões climáticas (1980 - 2017) sobre os tipos de vegetação (com cobertura primitiva) do Nordeste Brasileiro. ....	189
Figura 37 - Sobreposição das regiões climáticas (1980 - 2017) sobre as classes de topografia do Nordeste Brasileiro. ....	190

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Zonas climáticas de Walter e Lieth (1960) e Zonobiomas do Nordeste Brasileiro.....	45
Quadro 2 - Zonas climáticas mundiais, seus mecanismos genéticos e o tipo de vegetação potencial relacionada. ....	49
Quadro 3 - Regiões fitofisionômicas relacionadas aos climas tropicais e subtropicais.....	50
Quadro 4 - Características gerais e período preferencial dos principais sistemas sinóticas que atuam na Região Nordeste do Brasil.....	57
Quadro 5 - Tipo, origem, características gerais e situação sinótica em superfície das massas de ar que atuam na Região Nordeste do Brasil. ....	60
Quadro 6 - Classificação fitogeográfica para o Nordeste Brasileiro. ....	84
Quadro 7 - Critérios de classificação quanto aos domínios e tipos de clima para a Região Nordeste do Brasil .....	122
Quadro 8 - Síntese das características genéticas e estáticas referentes às regiões climáticas do Nordeste Brasileiro. ....	199

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações meteorológicas utilizadas no estudo com os seus respectivos dados referentes ao nome, localização e número de anos com dados entre os anos de 1980 e 2017.....	67
Tabela 2 - Grupos climáticos sazonais (1980-2017) para a Região Nordeste do Brasil e as médias sazonais de temperatura do ar (mínima e máxima), umidade relativa do ar (máxima e mínima), cobertura de nuvens, velocidade do vento, direção do vento, velocidade do vento e precipitação.....	95
Tabela 3 - Intervalo das variáveis meteorológicas em superfície às 18 h UTC características dos dias típicos da mTA para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.....	99
Tabela 4 - Intervalo das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC características dos dias típicos da mTA1 para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.....	101
Tabela 5 - Intervalos das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC característicos dos dias típicos da mTAC para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.....	102
Tabela 6 - Intervalos das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC características dos dias típicos da mTC para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.....	104
Tabela 7 - Intervalos das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC características dos dias típicos da mEC para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.....	105
Tabela 8 - Intervalos das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC dos dias típicos da ZCIT para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.....	106
Tabela 9 - Intervalos das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC característicos dos dias típicos da ZCAS/ZCOU para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.....	107
Tabela 10 - Autovalores dos componentes principais, proporção da variância e proporção acumulada referente a cada componente principal.....	117
Tabela 11 - Autovetores referentes às variáveis (massas de ar e sistemas sinóticos individualizados) da matriz de dados da ACP.....	118

Tabela 12 - Frequências médias de atuação das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados para os tipos climáticos do Nordeste Brasileiro.....	126
Tabela 13 - Frequências sazonais de atuação das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados, estatisticamente mais significativos para o agrupamento dos tipos climáticos do Nordeste Brasileiro.....	128
Tabela 14 - Valores anuais médios e valores percentuais sazonais de precipitação para os grupos climáticos regionais. ....	147
Tabela 15 - Valores estatísticos do teste de Mann-Kendall para as temperaturas máximas (1993-2017), tendências diária, anual e decadal, e valores de significância (p).	152
Tabela 16 - Valores estatísticos do teste de Mann-Kendall para a umidade relativa média diária (1993 - 2017), tendências diária, anual, decadal e valores de significância (P). ....	162
Tabela 17 - Valores estatísticos do teste de Mann-Kendall para a precipitação média diária (1993-2017), tendência diária, anual, decadal e valores de significância (P).....	169

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAH	Análise de Agrupamento Hierárquica
ACP	Análise de Componentes Principais
ASAS	Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CP	Componentes Principais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
mEA	massa Equatorial Atlântica
mEC	massa Equatorial Continental
mTA	massa Tropical Atlântica
mTAC	massa Tropical Atlântica Continentalizada
mTC	massa Tropical Continental
mTK	massa Tépidas Kalahariana
NE	Nordeste
NEB	Nordeste Brasileiro
NO	Noroeste
SE	Sudeste
SO	Sudoeste
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência da Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	21
2.1	OBJETIVO GERAL .....	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	22
3.1	SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA .....	22
<b>3.1.1</b>	<b>Resgate das regionalizações climáticas para o Nordeste Brasileiro</b> .....	24
<b>3.1.2</b>	<b>Sistemas sinóticos de classificação do clima e perspectivas de contribuição teórico-metodológica na climatologia geográfica brasileira</b> .....	33
<b>3.1.3</b>	<b>Aplicabilidade dos estudos de tipos sinóticos de tempo na análise de tendência climática</b> .....	39
<b>3.1.4</b>	<b>Classificações climáticas e suas relações com a fisionomia vegetal</b> .....	42
3.2	DINÂMICA CLIMÁTICA DO NORDESTE DO BRASILEIRO .....	51
<b>3.2.1</b>	<b>Massas de ar e tipos de tempo na região Nordeste do Brasil</b> .....	59
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	66
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E BASE CARTOGRÁFICA.....	66
4.2	CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA SINÓTICA PARA A REGIÃO NORDESTE DO BRASIL .....	66
<b>4.2.1</b>	<b>Definição dos grupos sazonais</b> .....	69
<b>4.2.2</b>	<b>Seleção das estações centroides</b> .....	71
<b>4.2.3</b>	<b>Seleção dos dias típicos para cada sistema sinótico</b> .....	71
<b>4.2.4</b>	<b>Caracterização dos tipos de tempo e dos padrões sinóticos para os dias típicos das estações centroides</b> .....	73
<b>4.2.5</b>	<b>Agrupamento climático final</b> .....	73
<b>4.2.6</b>	<b>Mapeamento da frequência das massas de ar e dos sistemas sinóticos individualizados</b> .....	75
<b>4.2.7</b>	<b>Caracterização climática estática para os tipos climáticos finais</b> .....	75
<b>4.2.8</b>	<b>Análise de tendência climática para os tipos climáticos finais</b> .....	75
<b>4.2.9</b>	<b>Análise de diagramas climáticos e estimativa de fitofisionomia potencial</b> .....	75
4.3	REGIONALIZAÇÃO CLIMÁTICA .....	76
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	78

5.1	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	78
5.1.1	<b>Sistema de classificação fitogeográfico para a Região Nordeste do Brasil</b> .....	81
5.1.2	Topografia e as principais unidades geomorfológicas de terras altas da Região Nordeste .....	84
5.1.3	<b>Solos da Região Nordeste do Brasil</b> .....	86
5.2	<b>CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA SINÓTICA PARA A REGIÃO NORDESTE DO BRASIL</b> .....	92
5.2.1	<b>Grupos climáticos sazonais e estações centroides</b> .....	92
5.2.2	<b>Caracterização dos sistemas sinóticos e tipos de tempo identificados para as estações centroides</b> .....	97
5.2.2.1	Massa Tropical Atlântica (mTA).....	96
5.2.2.2	Massa Tropical Atlântica com presença de instabilidade atmosférica (mTA1).....	99
5.2.2.3	Tipos de Tempo Transitórios (T).....	101
5.2.2.4	Massa Tropical Atlântica Continentalizada (mTAC).....	101
5.2.2.5	Massa Tropical Continental (mTC).....	102
5.2.2.6	Massa Equatorial Continental (mEC).....	103
5.2.2.7	Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	105
5.2.2.8	Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de Umidade (ZCOU).....	
5.2.3	<b>Padrões sinóticos sazonais</b> .....	107
5.2.4	<b>Análise de Componentes Principais e frequências de atuação dos sistemas sinóticos</b> .....	117
5.2.5	<b>Agrupamento climático a partir da metodologia dos tipos sinóticos de tempo</b> ...	121
5.2.6	<b>Mapeamento da frequência de atuação das massas de ar e dos sistemas sinóticos individualizados</b> .....	131
5.2.7	<b>Caracterização sazonal das variáveis meteorológicas estáticas para os tipos climáticos do Nordeste brasileiro</b> .....	143
5.2.8	<b>Análise de tendência das séries temporais diárias de temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa e precipitação para os tipos climáticos do Nordeste do Brasil</b> .....	150
5.2.9	<b>Diagramas climáticos e vegetação potencial correspondente aos tipos climáticos sinóticos</b> .....	175
5.2.10	<b>Regionalização climática</b> .....	186
5.2.10.1	Climas tropicais úmidos.....	189

5.2.10.2 Climas tropicais semissecos.....	192
5.2.10.3 Climas tropicais semiúmidos.....	195
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	202
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	204

## 1 INTRODUÇÃO

As relações entre a atmosfera e o espaço geográfico são diversas. As interações entre os elementos climáticos e as paisagens antropizadas impactam de várias maneiras as atividades das comunidades humanas e, por esta razão, o clima tem sido objeto de amplas investigações que buscam fornecer informações aplicáveis à organização dos territórios.

Compreende-se o clima como um elemento físico fundamental na dinâmica das paisagens terrestres, pois se relaciona à disponibilidade hídrica e aos agentes biogeoquímicos ambientais. Deste modo, está relacionado às entradas de energia nos sistemas do planeta, sendo um dos controles fisiográficos mais importantes para o planejamento das atividades humanas (CONTI, 2014).

No contexto das mudanças ambientais contemporâneas o clima também pode ser considerando um dos elementos centrais. O modo predatório de uso da terra das comunidades humanas no planeta tem ocasionado desequilíbrios nos sistemas da natureza, intensificando e acelerando processos de temporalidades mais lentas. Essas mudanças nos níveis de equilíbrio dos sistemas ambientais são perceptíveis em diversas escalas, aumentando a suscetibilidade aos eventos climáticos extremos e agravando as condições de risco relacionadas a tais eventos (MARENGO, 2008).

A região tropical do planeta está exposta a níveis elevados de vulnerabilidade e riscos relacionados às mudanças ambientais (NOBRE, 2008). Esta zona climática terrestre apresenta uma alta suscetibilidade às secas e às inundações, como consequência da alta variabilidade das precipitações pluviométricas decorrentes do funcionamento dos sistemas climáticos regionais e locais. Os problemas decorrentes da interação dos sistemas climáticos com as sociedades humanas, na região tropical, são intensificados pela existência de uma dissincronia entre o ritmo climático e as estruturas de uso e ocupação da terra.

Nessa perspectiva, o conhecimento da dinâmica climática é uma importante ferramenta de caracterização e compreensão dos distintos tipos climáticos, que apresentam fluxos de energia com amplitudes diversas. Essas diferenciações nos fluxos de energia entre os climas, bem como suas variabilidades cíclicas em cada região climática, representam informações chave para se alcançar níveis de adaptação dos tipos de uso da terra mais consonantes com o equilíbrio das paisagens.

Como abordagem primária no estudo dos climas, a classificação climática é uma importante ferramenta de análise geográfica, pois pode ser considerada como o ponto de partida para a compreensão dos processos climáticos. Entendendo o clima como um componente

essencial da dinâmica dos ecossistemas, por representar importantes entradas de energia, considera-se que a regionalização climática, com vistas ao planejamento do território, é uma ferramenta importante para reconhecimento das características ambientais.

De modo geral, podem ser distinguidos dois modelos teóricos de classificação climática: aqueles fundamentados em índices resultantes de combinações entre dados meteorológicos (modelos estáticos), como os de Köppen (1936) e Thornthwaite (1948), e as abordagens pautadas na compreensão genética dos tipos de tempo (ROSSATO, 2011). Destaca-se a importância das classificações estáticas na determinação de valores de referência e na aplicação das classes climáticas na síntese de paisagens, por apresentar limites mais precisos. As classificações de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), por exemplo, possuem importância na determinação do balanço hídrico ambiental, fornecendo informações acerca da relação entre planta, solo e atmosfera.

Como questão fundamental, persistem as aplicabilidades e eficiências das diversas abordagens de classificação dos climas na compreensão da interação entre a atmosfera e os fenômenos socioambientais. Nesse sentido, a metodologia apropriada à determinada regionalização climática é aquela que responde aos objetivos da investigação (NÓBREGA, 2010).

No contexto da climatologia geográfica brasileira, o método da análise rítmica, desenvolvido por Monteiro (1971) com base na escola francesa, tem sido amplamente utilizado nos estudos climáticos. Considera-se fundamental a compreensão da dinâmica ou origem dos sistemas atmosféricos produtores dos tipos de tempo. Para isso, a variação de uma série de dados meteorológicos horários tem sido explicada a partir da interpretação dos padrões de circulação dos centros de ação climáticos (OGOSHAWARA, 2012).

A associação entre os modelos clássicos de regionalização climática e as técnicas mais recentes tem possibilitado a produção de estudos mais aplicáveis à dinâmica do espaço geográfico (DIXON, et al. 2016). No decorrer do século XX, a revolução tecnológica e científica muito contribuiu para o avanço dos estudos climáticos. Nesse contexto, houve o avanço de metodologias analíticas de base sinótica, em que a dinâmica do clima é compreendida a partir dos centros de ação e padrão de ventos em superfície.

As classificações climáticas desenvolvidas a partir de modelos sinóticos têm adotado uma metodologia híbrida; associando os padrões de circulação da atmosfera à análise estatística multivariada (análise de componentes principais e de agrupamento) para identificação dos tipos de tempo sinóticos que constituem os climas. As técnicas semiautomáticas têm se mostrado eficientes nos estudos de caracterização e dinâmica atmosférica, com aplicações na relação dos

climas com os processos ambientais. Entre os temas associados aos estudos de climatologia sinótica destacam-se aqueles que investigam a relação dos tipos de tempo com a poluição do ar, saúde humana, agricultura e mudanças climáticas (YARNAL, 2001; LEE e SHERIDAN, 2015; DIXON et al., 2016).

O presente estudo parte da premissa de que uma maior aproximação metodológica entre as classificações semiautomáticas com base na climatologia sinótica dos tipos de tempo e aquelas com foco na análise geográfica, no Brasil, trariam contribuições para os estudos climatológicos. A incorporação de procedimentos automáticos na determinação de parâmetros das variáveis meteorológicas, que constituem os tipos de tempo sinótico, contribuiria com a caracterização da natureza das massas de ar, especialmente nos locais em que a análise dos campos isobáricos não é suficiente para compreensão da dinâmica climática (BOWER et al., 2007).

Ressalta-se que a geografia dos climas, desenvolvida no Brasil, demanda de estudos que objetivem um refinamento metodológico, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, considerando que maior esforço foi concentrado na caracterização dos tipos e da dinâmica climática do centro sul do território nacional. As clássicas abordagens de classificação climática com base nos campos de pressão atmosférica não são suficientes para caracterização das massas de ar e dos sistemas meteorológicos atuantes nas proximidades da região equatorial do planeta. Destaca-se, portanto, a necessidade de caracterização dos tipos de tempo relacionados às respectivas massas de ar (a partir de métodos mais objetivos que relacionem variadas características atmosféricas) como alternativa para mitigar as lacunas teóricas e metodológicas existentes.

Na Região Nordeste do Brasil, os estudos relativos à regionalização climática são escassos. Localizada na faixa intertropical do planeta, essa região é marcada por uma expressiva variedade de tipos climáticos, com distribuição explicada pela interação entre os sistemas atmosféricos regionais e os fatores geográficos locais, com destaque para o relevo (AB´SABER, 2003). Os climas variam desde tropicais úmidos, na costa oriental, a tropicais semiáridos. Nesse sentido, a complexa geografia climática regional representa desafios para o planejamento territorial, pois a disponibilidade e diversidade de recursos naturais estão estreitamente vinculadas às tipologias climáticas. Do ponto de vista teórico, considera-se que não há uma conformidade acerca das massas de ar atuantes na região, o que representa um problema, pois trata-se de um conceito fundamental para as regionalizações climáticas executadas nos estudos de climatologia geográfica.

Com objetivo de contribuir metodologicamente com os estudos em climatologia, o presente estudo tem como proposta elaborar uma classificação climática híbrida com base genética e estática, incorporando a abordagem dos tipos sinóticos de tempo, a fim de contribuir com a aplicabilidade das classificações climáticas aos estudos geográficos. Os objetivos propostos estão vinculados à escala de abordagem da Região Nordeste do Brasil. A análise regional possui coerência com a escala de atuação dos sistemas sinóticos produtores de tempo e, por essa razão, é apropriada para a classificação com base nos tipos de tempo sinóticos.

Para esses propósitos, o trabalho foi organizado em duas partes principais. A primeira consiste em uma classificação climática da Região Nordeste a partir da metodologia dos tipos de tempo sinóticos. A segunda parte trata-se de uma investigação acerca da relação entre a distribuição dos tipos climáticos com a topografia e os domínios fitoclimáticos da Região Nordeste. Essa análise visou determinar limites das cotas topográficas que influenciam a distribuição geográfica dos agrupamentos de paisagens.

Para tanto, inicialmente será apresentada a fundamentação teórica do estudo, abordando as principais questões teóricas e metodológicas da climatologia. Foram discutidos os principais trabalhos clássicos e recentes relativos às regionalizações climáticas que contemplaram a Região Nordeste, ou áreas tropicais e subtropicais do Brasil. Os métodos de classificação foram discutidos, com enfoque na aplicabilidade em baixas latitudes de esquemas desenvolvidos para médias latitudes, na perspectiva de análises híbridas (genéticas e estáticas) com refinamento estatístico multivariado. Em seguida, estão apresentados os procedimentos metodológicos e os materiais utilizados para elaboração da presente proposta de estudo. E, por fim, encontram-se apresentados os resultados da classificação climática para o Nordeste do Brasil e a regionalização dos grupos climáticos resultantes da aplicação da metodologia dos tipos sinóticos de tempo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Propor uma classificação dos climas do Nordeste Brasileiro com base na abordagem sinótica dos tipos de tempo.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) caracterizar os fatores da paisagem com maiores potenciais para indicativo da dinâmica climática no Nordeste brasileiro;
- b) caracterizar os tipos de tempo e padrões sinóticos para as estações meteorológicas da Região Nordeste;
- c) identificar a frequência de atuação das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados para cada estação meteorológica;
- d) investigar a existência de tendência para as séries temporais de precipitação, temperatura e umidade em cada tipo climático;
- e) mapear as classes climáticas com a utilização de base topográfica e fitogeográfica no refinamento cartográfico.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

A regionalização climática é uma importante ferramenta teórica para estudo dos tipos climáticos, pois os sistemas de classificação dos climas auxiliam no planejamento regional referente à utilização dos recursos naturais. Pode-se constatar que o principal objetivo de classificar tipos climáticos é elaborar sínteses para entendimento de padrões climáticos em diversas escalas (ARMOND e SANT'ANNA NETO, 2016). As classificações buscam fazer agrupamentos de variáveis distintas, as quais serão selecionadas a depender dos objetivos da classificação, definindo unidades ou tipos de clima (ROSSATO, 2011).

As classificações climáticas utilizam critérios que podem variar de acordo com os objetivos de cada sistema de classificação, sendo importante enfatizar que todos eles apresentam limitações e qualidades (NÓBREGA, 2010). Destacam-se dois métodos genéricos de classificação climática: (i) estático, que é elaborado com base nas médias de elementos climáticos variados; e (ii) genético ou dinâmico, o qual tem como embasamento a existência de tipos de tempo que associados compõem o clima (NIMER, 1972).

Em relação às questões metodológicas que envolvem as classificações genéticas e estáticas, discute-se a delimitação das regiões nos estudos geográficos do clima. As classificações estáticas se baseiam em valores numéricos, que favorecem a delimitação exata entre as regiões climáticas, enquanto as classificações genéticas têm os limites climáticos mais imprecisos, em virtude da dificuldade de delimitação exata das áreas de atuação das massas de ar e da escala de análise regional ou sub-regional. Porém, a maior vantagem dos sistemas de classificação genéticos é a abordagem da gênese dos sistemas sinóticos, com aplicações diversas nos estudos geográficos (NÓBREGA, 2010).

Os métodos estáticos se baseiam em médias e, quando analisados de forma isolada, podem produzir interpretações equivocadas acerca das características climáticas, pois as normais climáticas podem ocultar tipos de tempo que compõem o ciclo climático. Apesar das críticas aos procedimentos estáticos de classificação, é importante frisar que esses métodos possuem importante aplicabilidade nos estudos ambientais e no planejamento das atividades socioeconômicas, por fornecerem limites zonais mais precisos entre unidades de paisagem (NÓBREGA, 2010; CAVALCANTI e CORREA, 2014).

Entre as metodologias de classificação estática, as mais difundidas são as de Köppen (1936) e de Thornthwaite (1948). O sistema de classificação de Köppen é empírico e utiliza

como base valores médios de temperatura e precipitação, além de considerar que a vegetação nativa é o melhor indicador do clima. Por essa razão, os limites climáticos são ajustáveis pela geografia dos grandes grupos de vegetação. O método de Thornthwaite (1948), por sua vez, está relacionado à entrada e saída de água nos sistemas ambientais, considerando a relação entre solo, planta e atmosfera, sendo indicado para aplicações agroclimáticas (NÓBREGA, 2010).

A partir do método de Köppen de classificação estática, Dubreuil et al. (2018) elaboraram uma classificação climática para o território brasileiro. Utilizaram esse sistema de classificação para definir os “tipos climáticos anuais”, utilizando médias de temperatura e precipitação de 208 estações meteorológicas distribuídas por todas as regiões do Brasil. A partir desses dados, aplicaram o conceito de “núcleos fortes”, ou seja, áreas onde os tipos climáticos anuais são mais frequentes e de áreas de transição, onde os tipos climáticos anuais são bastante variáveis. Como resultados, foram apresentadas as regiões climáticas relativas à frequência de classificação das estações meteorológicas nos tipos climáticos anuais.

Os métodos dinâmicos ou genéticos de classificação climática partem da análise dos tipos de tempo, identificados com o auxílio de cartas sinóticas diárias associadas a dados meteorológicos. A escola brasileira de climatologia geográfica possui seus pressupostos teóricos-metodológicos de classificação embasados nas abordagens clássicas do método sinótico das massas de ar e dos tipos de tempo (Pédelaborde, 1970), da classificação genética de Stralher (1969) e da Análise Rítmica (Monteiro, 1971), com base no conceito climático de Sorre (1951).

A classificação de Stralher (1969), um dos métodos genéticos de classificação mais difundidos, utilizou dados de precipitação e temperatura associados à análise qualitativa de identificação mensal das massas de ar a nível mundial. Nessa classificação, baseada na investigação dos centros de ação e massas de ar, os climas foram distinguidos em três grupos: os de baixa latitude, com influência de massas de ar equatoriais e tropicais; os de média latitude, influenciados tanto pelas massas de ar tropicais como pelas polares; e os climas de alta latitude, controlados pelas massas de ar polares. Nas baixas latitudes foram estabelecidos os subtipos climáticos equatorial úmido, litorâneo com ventos alísios, desértico tropical de estepe, desértico da costa ocidental e tropical seco-úmido.

As abordagens metodológicas dinâmicas desenvolvidas na climatologia geográfica brasileira possuem grande influência dos estudos do Ritmo Climático (Monteiro, 1964, 1971). O método de Monteiro é caracterizado pela análise de longas séries gráficas de dados meteorológicos diários consorciados a informações sobre os sistemas meteorológicos atuantes em cada dia. Na sequência dos tipos de tempo, as variabilidades não são consideradas exceções,

mas sim eventos cíclicos de grande importância em interação com o espaço geográfico. Além disso, a análise rítmica é considerada fundamental por revelar a gênese dos fenômenos climáticos em interação com os fatores geográficos em uma determinada região (MONTEIRO, 1991).

A proposta de classificação dos climas do Brasil apresentada por Mendonça e Danni-Oliveira (2007) considera a distribuição da temperatura e precipitação no território nacional, relacionadas com os fatores geográficos e a dinâmica das massas de ar. Nessa proposta de regionalização foram delimitados cinco grandes grupos climáticos (de acordo com a circulação climática regional) e subtipos mais detalhados (de acordo com a extensão do período seco). Para a Região Nordeste do Brasil, foram mapeados três macrotipos climáticos: o clima Tropical Equatorial, clima Tropical Litorâneo do Nordeste Oriental e clima Tropical Úmido-Seco ou Tropical do Brasil Central.

Com base nas metodologias de ritmo e sucessão dos tipos de tempo e das chuvas, Zavattini (2009) elaborou uma classificação climática para o estado brasileiro do Mato Grosso do Sul. Para tanto, utilizou gráficos de análise rítmica e cartas sinóticas com o objetivo de compreender a gênese das chuvas sobre a área de estudo e, a partir dessas análises associadas aos índices de participação das correntes atmosféricas, propôs sua regionalização.

Rossato (2011) elaborou uma classificação climática para o estado do Rio grande do Sul a partir de duas etapas metodológicas principais. A primeira delas consistiu em uma regionalização preliminar por meio da técnica geoestatística de análise de componentes principais, a qual permitiu a identificação de padrões climáticos associados a unidades geomorfológicas. A segunda etapa compreendeu um refinamento da análise anterior a partir da aplicação da análise rítmica, e utilização do índice de participação de massas de ar.

Armond (2018) realizou uma reflexão conceitual a respeito das classificações climáticas em geografia e elaborou uma proposta metodológica considerando as relações entre excepcionalidades climáticas e padrões de vulnerabilidade no estado do Rio de Janeiro. Nesse estudo, ressaltou que a maioria dos trabalhos que apresentaram propostas de classificação climática utilizaram os modelos estáticos clássicos de Köppen e Thornthwaite, evidenciando, assim, que os modelos genéticos baseados em dinâmica atmosférica ainda são pouco difundidos na produção científica nacional.

O estudo de Novais (2019) propôs uma classificação climática para o bioma Cerrado. A metodologia de síntese foi baseada nas análises estatísticas espaciais. As unidades climáticas foram mapeadas com base na temperatura do mês mais frio, no número de meses secos e na influência dos sistemas atmosféricos. De acordo com estes critérios de classificação, foram

definidos os domínios, subdomínios, tipos, subtipos e meso/topoclimas. A distinção entre os domínios foi determinada a partir da atuação dos sistemas atmosféricos, enquanto os subdomínios estiveram relacionados ao número médio de meses secos (determinados a partir do Balanço Hídrico Climático de Thornthwaite e Mather, 1955) e os tipos foram delimitados pela localização (Amazônico, Central, Litorâneo, Meridional, Nordeste, Ocidental e Setentrional).

Na Região Nordeste do Brasil as classificações climáticas dinâmicas são ainda mais escassas. Nesse cenário, destaca-se o estudo de Diniz e Pereira (2015), em que, baseados na metodologia utilizada por Nimer (1979), regionalizam os climas do estado do Rio Grande do Norte. Essa metodologia se baseia em três sistemas principais: (i) derivado da climatologia dinâmica e baseado em padrões de circulação atmosférica; (ii) delimitação de regiões térmicas; e (iii) delimitação das regiões quanto à umidade, com base na existência ou não de seca e no comprimento médio da estação seca. Constata-se, então, que essa abordagem é baseada na climatologia estática e dinâmica, utilizadas de modo complementar.

Foi apresentado como resultado de Diniz e Pereira (2015), o mapeamento de dois grandes grupos climáticos (o Tropical do Nordeste Oriental e o Tropical de Zona Equatorial), três subdomínios climáticos (úmido, subúmido, semiárido) e sete variedades climáticas (baseadas na duração do período seco). Foram identificadas no estudo duas massas de ar associadas à climatologia estadual: a massa equatorial atlântica (mEa) e a massa tropical atlântica (mTA). Todavia, os autores não discutiram detalhes acerca dos mecanismos dinâmicos das massas de ar que caracterizam a climatologia regional.

### **3.1.1 Resgate das regionalizações climáticas para o Nordeste Brasileiro**

Diante de uma escassez de estudos recentes, de base genética, para a classificação climática do Nordeste Brasileiro, é importante resgatar os estudos clássicos que regionalizaram a atuação das massas de ar para a região. Assim, reforça-se a importância dos estudos de Serra e Ratisbonna (1959, 1960), Andrade (1972) e Nimer (1979) para o aprimoramento teórico e metodológico das análises climáticas regionais. Nesse contexto, é essencial a discussão da dinâmica das massas de ar descritas pelos autores.

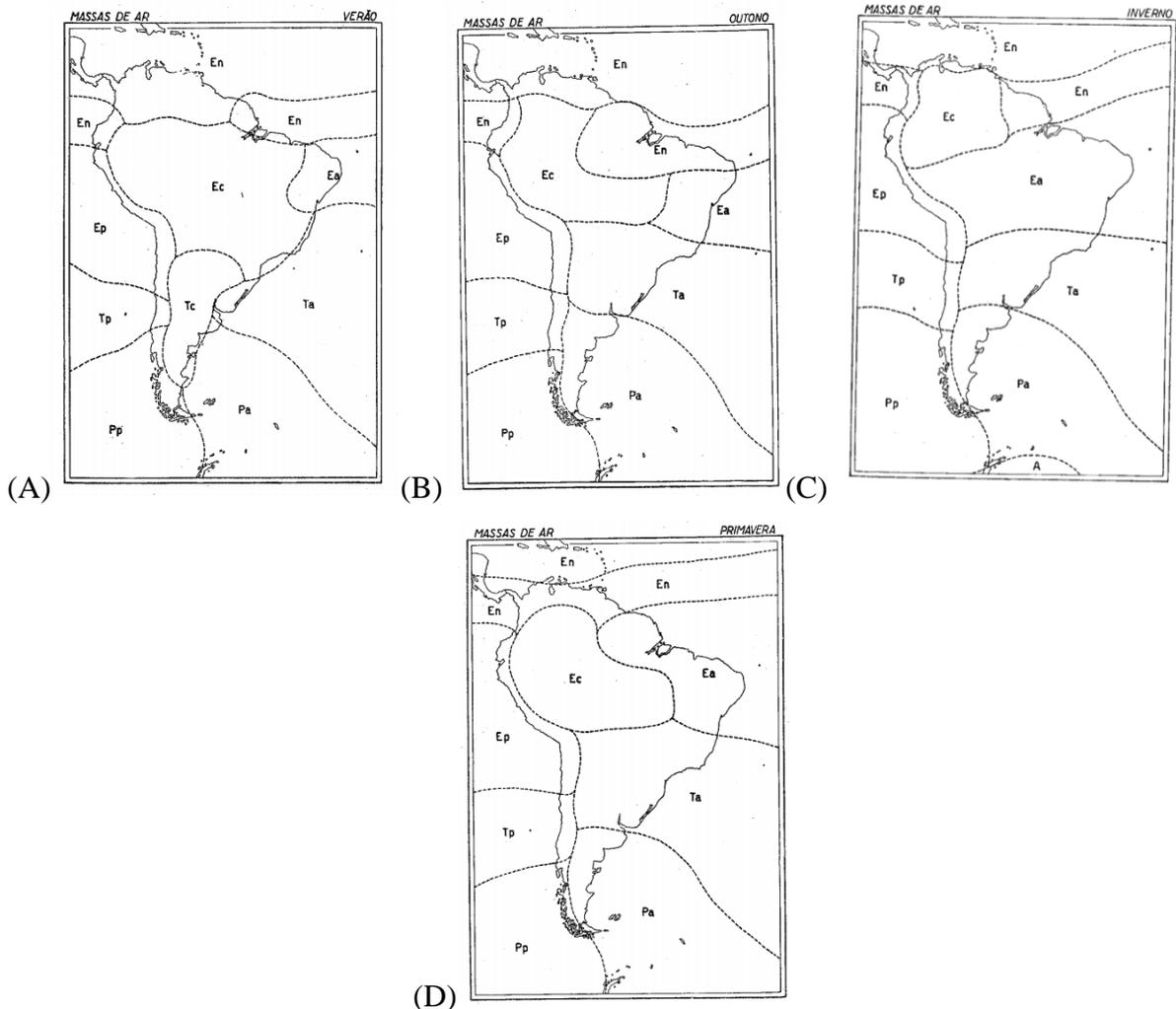
Serra e Ratisbonna (1959) apresentaram uma caracterização das massas de ar para a América do Sul, partindo da circulação geral da atmosfera com objetivo de explicar a dinâmica sazonal. A abordagem dos autores, em escala sinótica, trouxe importante contribuição metodológica e teórica na análise climática genética tropical e subtropical. Os autores

descreveram as regiões de origem das massas de ar e os mecanismos relacionados às principais frentes que atuam sobre o continente sul americano. Apesar de não terem elaborado uma proposta de classificação de climas, descrevendo a dinâmica das massas de ar nos domínios da classificação de Köppen, regionalizaram a atuação sazonal das massas de ar sobre a América do Sul.

Para o Nordeste Brasileiro (NEB), esses autores caracterizaram a atuação de quatro massas de ar representantes das condições climáticas. As massas atuantes na Região Nordeste foram classificadas como tropicais e equatoriais. As massas de ar tropicais foram descritas como aquelas originárias nos centros anticiclônicos sobre os oceanos, com subsidência na atmosfera inferior. As massas equatoriais que atuam na América do Sul foram agrupadas em quatro tipos de acordo com a origem: três marítimas e uma continental. No oceano Atlântico, foram descritas duas massas de ar equatoriais, uma relacionada aos ventos alísios de sudeste (SE) (sobre o Atlântico Sul) e outra sobre os alísios de nordeste (NE) (sobre o Atlântico Norte). A massa equatorial atlântica com origem continental foi associada à superfície de florestas úmidas, em áreas de clamarias e elevadas umidades relativas médias (SERRA e RATISBONNA, 1959).

A figura 1 apresenta as regiões de atuação das massas de ar na América do Sul. A massa Equatorial Norte (En) foi descrita como aquela que contém a faixa das clamarias equatoriais relacionadas a convergência dos alísios. Sobre o NEB, a massa En apresentou atuação durante o verão (figura 1 A) e, principalmente, outono (Figura 1 B). A massa Equatorial Atlântica (Ea) foi relacionada à região de atuação dos ventos alísios de sudeste e leste, sendo caracterizada por apresentar uma camada de inversão térmica capaz de produzir condições de tempo estáveis no interior do continente. Esta massa de ar apresentou ampla atuação sobre o NEB, com maior abrangência no inverno (Figura 1 C) e na primavera (Figura 1 D). A massa Equatorial Continental (mEC) teve sua expansão máximas nos meses de verão, transportando umidade para o oeste do NEB (SERRA e RATISBONNA, 1959, 1960).

Figura 1 - Regiões de atuação das massas de ar na América do Sul no verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D).



Fonte: Serra e Ratisbonna (1959).

Entre as propostas clássicas de classificação de climas, destaca-se o estudo de Andrade (1972), que analisou e descreveu a dinâmica das principais massas de ar que atuam sobre o território brasileiro, mapeando as áreas de influência de cada uma delas (Figura 2). Essas informações foram associadas aos regimes pluviométricos regionais e às classes climáticas de Köppen. Para cada classe climática foram relacionadas as massas de ar sazonais determinantes para a caracterização dos climas. Na discussão do estudo, ressaltou-se o efeito que o relevo do território pode exercer sobre a circulação climática, ocasionando diversificações nas classes de climas regionais. Ressalta-se, entretanto, que apesar de sua importância, esse estudo não foi incorporado de maneira sistemática nos estudos de climatologia geográfica.

O estudo dos climas do Brasil de Andrade (1972) partiu da investigação da circulação geral da atmosfera, identificando centros de ação e massas de ar responsáveis pela

caracterização dos climas regionais. Considerou-se que os climas do Brasil são caracterizados pela atuação sazonal predominante dos ventos alísios austrais, contudo, esses ventos, a depender de suas propriedades físicas, poderiam ser agrupados em massas de ar individualizadas. Destacou-se que as modificações físicas que geram distinções entre as massas de ar estão relacionadas a fatores geográficos como o relevo, a localização latitudinal das massas de terra continentais e as correntes marítimas do oceano Atlântico.

Na Figura 2 (B) foram apresentadas as regiões preferenciais de atuação das massas de ar na América do Sul de acordo com estudo de Andrade (1972). Para o NEB foram identificadas quatro massas de ar com importância na caracterização dos climas regionais. Essas massas de ar foram distinguidas de acordo com as suas respectivas áreas fonte em tropicais e equatoriais.

As massas de origem equatorial foram descritas como aquelas relacionadas à convecção atmosférica nas baixas latitudes, na zona de convergência dos alísios, caracterizadas por elevados valores de temperatura, umidade e nebulosidade. O ar equatorial foi diferenciado a partir das massas de origem oceânica e continental. A massa Equatorial Atlântica (Ea) possui sua origem no Atlântico equatorial e é caracterizada pelo desenvolvimento de densas nuvens na faixa de convergência dos alísios. A massa Equatorial Continental (Ec), assim como no modelo das massas de ar de Serra e Ratisbonna (1959), teve sua gênese centrada no noroeste da bacia amazônica. As médias térmicas anuais do ar equatorial continental foram estimadas no intervalo de 24° a 25° C e os valores de umidade relativa médios entre 85 e 95%. A área core desta massa de ar foi descrita como a origem de umidade da monção produzida pela baixa do Chaco durante o verão (ANDRADE, 1972).

As massas tropicais foram descritas como ar “tépido”, no estudo de Andrade (1972), ou seja, que possuem origem nas áreas estáveis dos anticiclones e se deslocam através dos alísios até as clamarías de baixa pressão equatorial. Foram individualizadas três massas de ar tropical com influência na climatologia do NEB.

A mais ampla atuação do ar tropical esteve condicionada pela ação da massa Tépidica Kalahariana (Tk), representada pelos alísios de leste e sudeste que se orientam da costa da África em direção ao NEB em todas as estações do ano. Essa massa de ar possui origem no Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul e produz condições de tempo estáveis sobre a costa sudoeste da África, no deserto costeiro da Namíbia e Kalahari, com movimento subsidente sobre a superfície. A Tk, proveniente do flanco oriental do anticiclone, se projeta no oceano Atlântico sobre a corrente fria de Benguela, retardando o aquecimento em sua base ao longo do deslocamento dos alísios sobre o oceano. O aquecimento da camada de ar superficial dessa massa de ar poderia romper o movimento subsidente do ar, caso a temperatura e a umidade se

elevassem o suficiente para desestabilizar a estrutura de inversão térmica relacionada à subsidência do ar. O fraco enfraquecimento da subsidência faz com que a camada de inversão dos alísios esteja a 2 quilômetros (Km) de altura ao atingirem a costa do NEB. Sendo assim, a estrutura vertical da Tk foi caracterizada por duas camadas de ar com características físicas distintas, sendo a mais baixa tépida e úmida, e a mais elevada quente e seca. Sobre o continente, as condições térmicas e higrométricas favoreceriam o estabelecimento das condições estáveis iniciais, produzindo condições atmosféricas quentes e secas (ANDRADE, 1972).

O segundo tipo de ar tropical descrito, o ar tépido atlântico (Ta), esteve, de acordo com o modelo de atuação das massas de ar de Andrade (1972), menos ativo sobre o NEB do que a massa Tk. A massa Ta teria sua origem no flanco ocidental do Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul, relacionado a uma subsidência menos intensa ao movimento de retorno dos alísios, no giro anticiclônico. A Ta foi relacionada a influências mais frequentes sobre o litoral sul do NEB, a partir da cidade de Salvador. Essa massa de ar, por deslocar-se sobre a corrente quente do Brasil apresenta maior teor de umidade em sua camada de base. Estaria, então, a Ta associada a condições anticiclônicas sobre o continente durante o inverno, e à ocorrência das chuvas orográficas nas escarpas íngremes do sudeste brasileiro (ANDRADE, 1972).

A classificação climática para o Brasil, de Andrade (1972), estabeleceu cinco regiões climáticas principais para o NEB, apresentadas na Figura 2 (A). Nessa proposta, as classes climáticas de Köppen foram descritas com auxílio de pluviogramas e com base na dinâmica das massas de ar. Portanto, trata-se de uma classificação híbrida entre métodos genético e estático.

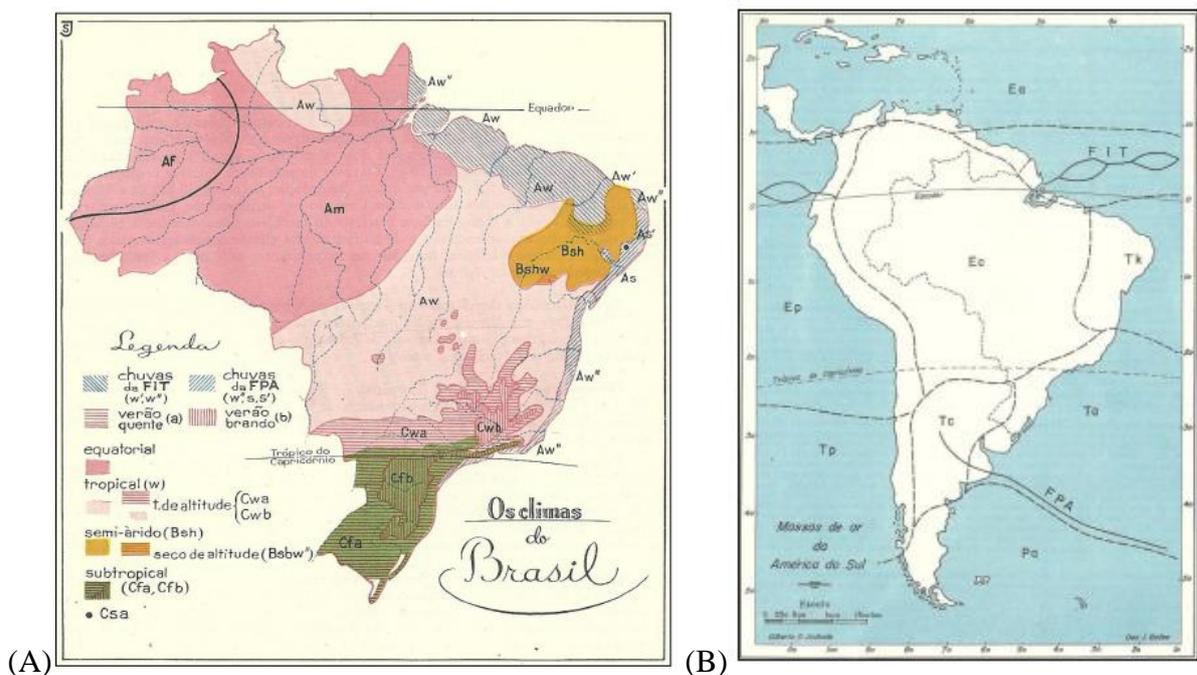
O primeiro tipo climático descrito corresponde aos domínios climáticos tropicais quentes com marcada sazonalidade na distribuição anual das precipitações, classificado como clima tropical com chuvas de verão (Aw) pelo sistema de Köppen. Essa classe climática foi caracterizada como típica das savanas tropicais. Esse tipo se distingue de sua variante relacionada a chuvas de verão e outono (Aw') pelo período de máxima concentração das chuvas, no bimestre de março e abril. Essa variante ocorre com maior frequência no norte do NEB, possui o período úmido influenciado pelas intrusões da convergência intertropical e tem o período seco influenciado pela atuação da Tk. No tipo Aw as chuvas concentram-se no bimestre de janeiro e fevereiro. Nas áreas do sul do Maranhão, oeste do Piauí e oeste da Bahia, o tipo Aw foi alternadamente caracterizado pela atuação da Ec (no período úmido) e Tk (no período seco) (ANDRADE, 1972).

O clima semiárido foi caracterizado por apresentar duas variantes. O clima seco do tipo semiárido com chuvas de verão (BShw) foi descrito como clima semiárido com chuvas concentradas no verão, ocorrendo no Sertão do estado do Piauí e estendendo-se até o vale

submédio do rio São Francisco. As chuvas desse regime climático foram atribuídas à convecção produzida pela expansão da Ec, e o período seco foi relacionado à atuação frequente da Tk. Os climas quentes e secos com chuvas de outono (BShw'), representantes da segunda variante semiárida, predominaram entre o interior do estado do Rio Grande do Norte, Paraíba e norte de Pernambuco, com período úmido marcado pela intrusão da Frente Intertropical (FIT) nos vales dos rios Espinhara e Piancó (RN e PB), na região da Serra do Teixeira (PB) e alto curso do rio Pajeú (PE). O extenso período seco, estaria relacionado à elevada frequência da Tk (ANDRADE, 1972).

O clima tropical da costa oriental nordestina foi caracterizado no estudo de Andrade (1972) por apresentar chuvas concentradas no outono e inverno, com área de ocorrência desde a cidade de Salvador (no estado da Bahia) até o litoral do Rio Grande do Norte, seguindo longitudinalmente os limites topográficos das encostas mais elevadas do Planalto da Borborema. No domínio desse tipo climático, os totais pluviométricos foram delimitados entre 1200 e 2000 mm anuais. O litoral oriental nordestino, influenciado durante todo o ano pelos ventos alísios de leste e sudeste, foi caracterizado por elevada frequência de atuação de Tk, que apesar das suas características descritas anteriormente, provocaria totais pluviométricos elevados em função de sua umidade basal e das chuvas frontais ocasionadas pela entrada da Frente Polar Atlântica ao longo do litoral do Nordeste (ANDRADE, 1972).

Figura 2 - Climas do Brasil (A) e massas de ar (B) que atuam na América do Sul.



Fonte: Andrade (1972)

Por fim, a proposta de classificação climática de Nimer (1979) esteve baseada em três etapas metodológicas. A primeira delas consistiu em uma caracterização dos padrões de circulação atmosférica, a segunda na definição dos regimes térmicos regionais e a terceira na identificação dos meses secos.

Do ponto de vista da caracterização dos padrões climáticos, Nimer (1979) destacou a importância da atuação do Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul para a gênese dos tipos climáticos regionais. Descreveu aspectos físicos da massa de ar associada aos alísios de leste e sudeste de modo análogo aos estudos de Serra e Ratisbonna (1959, 1960) e Andrade (1972). Apesar das distintas nomenclaturas utilizadas nos estudos, e da divergência quanto à origem equatorial, apontada por Serra e Ratisbonna (1959), todos destacaram a circulação atmosférica subsidente, ao longo do domínio anticiclonal e a consequente existência da camada de inversão térmica. Os autores destacaram que a atuação desse sistema atmosférico de altas pressões é o principal mecanismo supressor das precipitações pluviométricas, em especial nas áreas de clima semiárido.

No estudo de Nimer (1979) foram caracterizados os principais mecanismos atmosféricos relacionados à ocorrência de precipitação. Considerou-se que a precipitação seria o principal fator de distinção climática regional, por apresentar maior variabilidade no espaço e no tempo. Os padrões atmosféricos produtores de chuvas foram descritos em quatro grupos: (i) sistemas de correntes perturbadas de sul; (ii) sistemas de correntes perturbadas de norte; (iii) sistema de correntes perturbadas de leste; e (iv) correntes perturbadas de oeste (NIMER, 1979).

O sistema de correntes perturbadas de sul foi descrito como aqueles resultantes da penetração da Frente Polar Atlântica. Apesar de considerar que este sistema atmosférico atravessava com pouca frequência o Trópico de Capricórnio, foi destacada a importância das frentes na instabilidade de primavera e verão até o paralelo de 15°S, no sul da Região Nordeste. Foram descritas possíveis atuações das frentes ao longo da costa oriental do NEB, contribuindo com os totais pluviométricos de inverno. As correntes perturbadas de norte foram identificadas como a zona de convergência intertropical (ZCIT), com posicionamento favorável ao desenvolvimento de instabilidade atmosférica no Nordeste setentrional nos meses de verão e outono (NIMER, 1979).

O sistema de correntes perturbadas de leste foi relacionado ao deslocamento de ondas de leste do Atlântico para o litoral NEB. Este modelo de circulação atmosférica regional foi o primeiro, entre os estudos clássicos apresentados, a associar os elevados índices de precipitação no litoral da região durante o outono e o inverno ao deslocamento das perturbações ondulatórias dos alísios. As perturbações ondulatórias foram caracterizadas como ondas na forma de

“pseudofrentes”, que seriam capazes de romper localmente a camada de inversão dos alísios no domínio do anticiclone. As correntes perturbadas de oeste tiveram maior frequência descrita na primavera e no verão, quando ventos de oeste ou noroeste, consorciados a baixas pressões continentais, produziram instabilidade convectiva. A atuação das correntes perturbadas de oeste foi relacionada ao início da estação das chuvas no interior dos estados da Bahia, Maranhão e Piauí. Essas perturbações não atingiriam os demais estados do NEB em virtude da permanência de uma “dorsal de altas pressões” com prolongamento, a partir do oceano, sobre o continente durante o verão (NIMER, 1979).

As classes climáticas apresentadas por Nimer (1979) para o NEB estiveram agrupadas de acordo com os regimes térmicos e pluviométricos. No que se refere às temperaturas médias, foram estabelecidas duas categorias. A maior parte do território (95%) foi considerada pertencente a categoria dos climas quentes, com isotermas médias mensais frequentemente superiores a 24°C. Núcleos de temperaturas mais amenas, delimitados pela isoterma média inferior a 18°C, em pelo menos um mês, foram classificados na categoria dos climas subquentes. As menores médias térmicas estiveram localizadas nas unidades de relevo regionais mais elevadas (NIMER, 1979).

Em relação aos regimes pluviométricos, quanto à época de ocorrência das chuvas e aos sistemas atmosféricos atuantes, os climas foram classificados em mediterrâneo, do Brasil central e da zona equatorial. Os climas “mediterrâneos” foram associados à dinâmica dos alísios sobre o Nordeste oriental, com máximo período chuvoso entre os meses de outono e inverno. Os climas do Brasil central compreenderam o interior do estado da Bahia, e sul do Piauí e Maranhão, e tiveram seu regime pluviométrico relacionado à entrada das perturbações de oeste e frentes frias durante a primavera e o verão. Os climas equatoriais foram descritos como aqueles localizados no Nordeste setentrional, compreendendo o interior dos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão, e foram caracterizados pelos máximos volumes pluviométricos de verão e outono em decorrência da atuação da ZCIT (NIMER, 1979).

De acordo com o número de meses secos, os climas foram classificados em quatro categorias semiáridas (com seis meses secos, sete a oito meses secos, nove a dez meses secos e onze meses secos), duas categorias semiúmidas (com três meses secos e quatro a cinco meses secos), duas categorias úmidas (três meses secos e um a dois meses secos) e duas categorias superúmidas (com subseca e sem seca) (NIMER, 1979).

Acerca das classificações climáticas apresentadas, destaca-se a convergência metodológica entre os trabalhos de Andrade (1972) e Nimer (1979) ao apresentarem propostas

híbridas de classificação a partir de análises que partem da dinâmica atmosférica geral para explicar as distinções regionais e locais decorrentes da interação dos sistemas sinóticos com os fatores geográficos (relevo, correntes marítimas, continentalidade e maritimidade). Em relação à dinâmica climática regional, foram observadas nomenclaturas distintas para caracterização dos sistemas sinóticos. Enquanto Serra e Ratisbonna (1959, 1960) e Andrade (1972) utilizaram o conceito de massas de ar, Nimer (1979) optou por descrever os sistemas atmosféricos relacionadas à instabilidade atmosférica como “sistemas de correntes perturbadas”. Ressalta-se que os resultados dos estudos clássicos, apesar de grande contribuição para o desenvolvimento das análises genéticas do clima, necessitam de refinamento teórico e metodológico, a partir de estudos que incorporaram tecnologias e métodos recentes de análise de interpretação dinâmica da atmosfera (como imagens de satélite com maior resolução, técnicas de geoprocessamento e técnicas estatísticas mais robustas).

### **3.1.2 Sistemas sinóticos de classificação do clima e perspectivas de contribuição teórico-metodológica na climatologia geográfica brasileira**

Os sistemas de classificação sinótica possuem bases teóricas na climatologia sinótica, que buscam compreender as relações entre a circulação atmosférica e os processos superficiais das paisagens terrestres. A climatologia sinótica pode ser considerada uma abordagem relativamente recente, com difusão a partir do século XX em virtude do desenvolvimento técnico científico pós Segunda Guerra mundial. Nessa concepção analítica, os elementos centrais da atmosfera correspondem aos centros ciclônicos e anticiclônicos, os quais são capazes de influenciar os processos socioambientais (YARNAL, 1993). A climatologia sinótica se baseia na dinâmica da circulação atmosférica para descrever e explicar os regimes climáticos, as características espaciais do clima, a variabilidade e mudança climática (ABDELMOLA, 2009).

Os estudos em climatologia sinótica possuem como ponto de partida a elaboração de uma classificação do clima, a partir da caracterização dos tipos de tempo ou das massas de ar, que têm utilizado uma diversidade de variáveis para caracterização dos padrões de circulação atmosféricos (DIXON et al., 2016). Há pelo menos duas abordagens de classificação climática: (i) a abordagem circulação-ambiente, a qual investiga os padrões atmosféricos e depois os relaciona aos processos ambientais; (ii) e a abordagem ambiente-circulação, que a princípio determina e caracteriza a variável ambiental de estudo e, posteriormente, investiga os efeitos da dinâmica sinótica sobre a mesma (YARNAL, 1993, DIXON et al., 2016).

Abdelmola (2009) destaca que, quando se discutem abordagens de classificação da circulação sinótica, é importante distinguir dois conceitos tipicamente utilizados: os tipos de tempo e os padrões de circulação. Para essa autora, os tipos de tempo se referem especificamente à combinação dos elementos meteorológicos em superfície (temperatura, umidade, cobertura de nuvens etc), os quais resultam dos padrões de circulação atmosférica (advectivos, convectivos, subsidentes etc.). Maheras e Balafoutus (1984) apud Abdelmola (2009) afirmam que o conceito tipo de tempo sinótico abrange os tipos de tempo e os tipos de circulação atmosférica, abarcando as condições meteorológicas em superfície e os padrões de circulação atmosférica.

Os métodos sinóticos de classificação climática podem ser divididos em três tipos principais: os manuais (ou subjetivos), objetivos (ou automáticos) e semiautomáticos. Os métodos manuais consistem em uma classificação subjetiva dos padrões de circulação atmosférica a partir de análises visuais de cartas sinóticas. A classificação sinótica automática tem evoluído a partir do desenvolvimento de novos modelos climáticos e utilização de técnicas estatísticas, como a Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise de Agrupamento (AA). Destaca-se que os dois métodos são potencialmente aplicáveis, inclusive quando combinados em uma análise semiautomática (YARNAL et al., 2001; SHERIDAN, 2002).

A ACP tem sido largamente empregada nos estudos de classificação climática sinótica. A principal finalidade desse método, é reduzir o número de variáveis da matriz inicial em um conjunto menor de combinações lineares, os componentes principais, tornando-o apropriado para uma posterior análise de agrupamento. A ACP retém uma menor quantidade de variáveis, as quais respondem pela maior variância original da matriz de dados. As AA, por sua vez, possuem aplicação na regionalização climática e classificação dos tipos de tempo, a medida em que identificam grupos em que há maior similaridade entre os dados de seus componentes. É comumente empregado o agrupamento hierárquico (como o método de Ward), com objetivo de determinar o número de grupos, seguido do agrupamento não-hierárquico (a exemplo do K-médias), para delimitar os grupos climáticos (YANARL et al., 2001; SHERIDAN, 2002; BOWER et al., 2007; ABDELMOLA, 2009).

Os estudos sinóticos de classificação dos climas ainda podem ser subdivididos quanto à proposta de aplicação em dois tipos: os que possuem como foco analítico os padrões barométricos e os campos de vento em superfície, como a abordagem baseada em critérios hidrodinâmicos, e os que analisam as variáveis termodinâmicas e hidrodinâmicas a partir do conceito de massas de ar, utilizando variáveis como temperatura, umidade, pressão ao nível do mar, velocidade e direção dos ventos e cobertura de nuvens). Bower et al. (2007) afirmam que

as classificações sinóticas semiautomáticas que se baseiam unicamente nos padrões de pressão atmosférica fornecem informações sobre a dinâmica atmosférica, mas que pouco é revelado a respeito na natureza das massas de ar que compõem a dinâmica climática. Com o objetivo de relacionar os processos em superfície aos padrões de variação dos efeitos sinérgicos das características térmicas e higrométricas da atmosfera, tem-se optado por classificações sinóticas baseadas nas massas de ar ou tipos de tempo.

As massas de ar correspondem a grandes porções da atmosfera que apresentam características relativamente homogêneas de temperatura e umidade. Todavia essas características podem ser modificadas quando determinada massa de ar se desloca sobre superfícies com características térmicas e higrométricas distintas daquelas que a compõem. Sobre a interação das massas de ar, também se destaca o fato de que, caso uma massa de ar atravesse determinada superfície com velocidade constante, durante a mesma estação do ano, suas características podem ser semelhantes em anos distintos. Esse fato contribui para associar os tipos de tempo à atuação da mesma massa de ar, de acordo com suas características sazonais. (BARRY e PARRY, 1973; DAVIS e KALSTEIN, 1990).

As massas de ar podem ser classificadas de acordo com suas regiões de origem em massas equatoriais, tropicais e polares, ou ainda marítimas ou continentais, e úmidas ou secas. Uma vez que a dinâmica das massas de ar influencia diretamente as atividades agrícolas, a poluição do ar e a saúde dos seres vivos, por meio da variação de temperatura e umidade, a análise covariante dessas variáveis tem sido um método preferível para classificação climática sinótica (BOWER et al., 2007).

Entre os métodos de classificação sinótica, destaca-se a metodologia desenvolvida por Kalkstein et al. (1996) para o centro leste dos Estados Unidos, denominada Sistema de Classificação Sinótica Espacial (SCSE). Essa classificação possui como base a identificação de seis tipos de tempo existentes na América do Norte e tem sido utilizada na aplicação de diversos estudos, entre os quais, é possível citar as análises de eventos extremos de precipitação, ilhas de calor e ondas de calor (DIXON et al., 2016; LEE et al., 2018).

O SCSE foi refinado a partir de trabalho desenvolvido por Sheridan (2002), originando o SCSE 2. O ponto central da SCSE e SCSE 2 é a classificação dos dias representativos a partir das características físicas de seis tipos de massas de ar atuantes sobre os EUA, definidas a priori. As massas de ar são identificadas a partir de grupos homogêneos das variáveis meteorológicas, de modo que dias com características semelhantes estejam classificados em um mesmo grupo e reflitam combinações teóricas sazonais de temperatura e umidade. A SCSE utiliza sempre as mesmas seis massas de ar, comuns nas latitudes médias, podendo este método ser replicado

em outras localidades, e ser empregado em uma vasta área geográfica. Essa abordagem metodológica semiautomática requer uma classificação manual dos dias representativos (a partir de conhecimentos climáticos e análise de cartas sinóticas) para cada tipo de massa de ar, seguida por uma classificação automática ACP seguida de análise de AAH de todos os dias da série estudada, com base nas características pré-determinadas dos dias representativos (SHERIDAN, 2002 e BOWER et al., 2007).

Nas regiões intertropicais do planeta os controles climáticos são bastante distintos daqueles observados nas médias latitudes. Por essa razão, as classificações precisam utilizar metodologias apropriadas para caracterização dos tipos sinóticos em baixa latitude. Ademais, a escassez de dados meteorológicos em baixas latitudes é um problema para a aplicação de técnicas de classificação climática sinótica (DIXON et al., 2016).

Com destaque na classificação sinótica em regiões de baixa latitude, Abdelmola (2009) realizou um estudo no Sudão com objetivo de identificar os tipos de tempo sinóticos de superfície que caracterizam a climatologia da área do país. Para tanto, utilizou uma classificação semiautomática a partir de dados meteorológicos nos horários sinóticos de 00h, 06h, 12h e 18h de acordo com o *Coordinated Universal Time* (UTC). Foram aplicadas análises de componente principal e de agrupamento na determinação dos tipos de tempo, além de associação das condições sinóticas de superfície aos campos de pressão atmosférica. Além dos dados convencionalmente utilizados na caracterização dos tipos de tempo em latitudes médias (temperatura, pressão atmosférica ao nível do mar, direção e velocidade do vento, cobertura de nuvens, temperatura do ponto de orvalho e umidade relativa), foram utilizados os dados de precipitação, por esta variável apresentar um dos maiores valores de variabilidade na região intertropical.

No Brasil, além de serem escassos os estudos de regionalização climática, é lenta a difusão das classificações climáticas sinóticas semiautomáticas, com a incorporação das técnicas estatísticas multivariadas, amplamente utilizadas pelos países do hemisfério Norte. A climatologia geográfica se baseia na metodologia da Análise Rítmica de Monteiro (1971), a qual possui arcabouço conceitual na tradicional escola de geografia e climatologia francesa. Os estudos desenvolvidos no Brasil possuem abordagem predominantemente subjetiva, a partir da observação de dados diários de superfície em consonância com a análise de cartas sinóticas e imagens de satélite, com vistas à caracterização da gênese climática.

Entre os estudos que incorporaram análises estatísticas multivariadas destacam-se os elaborados por Rossato (2011) e Silva et al. (2006). Todavia, esses estudos não discutiram as conexões teóricas e metodológicas existentes entre o ritmo climático e as abordagens

semiautomáticas das classificações, baseados nos tipos sinóticos de tempo e nas classificações sinóticas espaciais da escola climática estadunidense. Silva et al. (2006) elaboraram uma proposta de classificação climática integrando a análise geoestatística à dinâmica atmosférica para área da “Raia Divisória” (entre os estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul). Para isso, utilizaram AAH a partir de vinte e cinco variáveis climáticas e a metodologia da Análise Rítmica.

Armond (2014), ao investigar a excepcionalidade das chuvas e dos alagamentos no Rio de Janeiro, utilizou o SCSE para caracterizar os tipos de tempo. Porém, não incorporou integralmente a metodologia, sendo apenas associados os tipos de massas de ar, caracterizados por Sheridan (2002) para a região subtropical dos EUA, às condições meteorológicas de superfície na cidade no Rio de Janeiro. Sobre o SCSE, Armond (2014) afirma que se produz nos estudos de climatologia sinótica uma conjunção de estados meteorológicos, não havendo preocupação com a gênese dos tipos de tempo, sendo essa uma abordagem sintética. Para essa autora, o estabelecimento de valores de referência para cada elemento climático insere o SCSE na categoria de climatologia estática, por não levar em conta o ritmo e a dinâmica do clima em sua análise.

Entretanto, há de se destacar que as abordagens com base nos tipos sinóticos de tempo e aquelas pautadas na análise rítmica não são excludentes, visto que as classificações sinóticas recentes são sistemas híbridos entre os métodos manuais (ou subjetivos) e as técnicas estatísticas de análise multivariada. Corroborando essa constatação, Bower et al. (2007), ao aplicar o SCSE 2 para a Europa Ocidental, esclarece que essa metodologia incorpora a análise de cartas sinóticas para adequar a representação das massas de ar: “*Seed days are identified by specifying ranges of meteorological variables for each of the air masses determined by climatological knowledge of an area and the analysis of synoptic charts*” (BOWER et al., 2007, p.2020). Ademais, as classificações diárias dos tipos de tempo podem levar em consideração as análises dinâmicas da atmosfera.

Fontão et al. (2018) fizeram um estudo comparativo entre a Análise Rítmica e o SCSE (originalmente denominado *Spatial Synoptic Classification*) na investigação da gênese das chuvas na cidade de São Paulo nos anos padrão de 2010 (chuvoso) e seco (2014). Esses autores concluíram que a utilização dos métodos referidos pode funcionar de modo complementar. Entre as vantagens do SCSE, destacaram a possibilidade de analisar longas séries temporais a partir da metodologia automática, e a aplicabilidade dos resultados em diversos estudos geográficos. Como ressalvas ao emprego do método, criticaram a utilização da classificação climática apenas com base na abordagem estatística (automática), destacando a importância da

utilização das análises de cartas sinóticas, e mostraram-se receosos quanto ao desenvolvimento de estudos que têm como objetivo central a sistematização das “totalidades dos tipos de tempo”. No entanto, considera-se que, a depender dos objetivos propostos, a utilização de anos padrão em séries temporais descontínuas também pode representar uma limitação analítica.

Em estudo clássico da climatologia geográfica brasileira, Monteiro (1964) afirma que a expressão regional do clima só pode ser obtida pela análise qualitativa dos elementos, considerando o ritmo ou sucessão habitual dos estados atmosféricos. Ao reconhecer a dificuldade prática para expressar o ritmo climático, esse autor optou pela utilização de um índice percentual de atuação das massas de ar. Nessa perspectiva, as cartas sinóticas constituíram a base para identificação das massas de ar e frentes, através dos campos isobáricos. Ao abordar as diversificações existentes na escala local, o autor defendeu a utilização de índices atmosféricos de superfície subordinados à análise qualitativa do ritmo.

A apresentação da metodologia de análise rítmica do clima, por Monteiro (1971), definiu que, além da utilização dos dados meteorológicos na escala diária (se possível horária), é imprescindível a investigação genética das massas de ar para a análise geográfica do clima. Deste modo, seria possível compreender a variação dos elementos meteorológicos plotados nos gráficos de análise rítmica, aspecto fundamental para a dinâmica do espaço geográfico.

Observa-se que a climatologia geográfica brasileira se assemelha às clássicas (e ainda consistentes) metodologias de análise subjetiva (ou qualitativa), discutida por Yarnal (1993 e 2001), dos campos barométricos a partir de cartas sinóticas ou imagens de satélites para identificação dos tipos de tempo a partir de variações de elementos atmosféricos em superfície. No entanto, é preciso destacar que a identificação do ritmo ou dos tipos de tempo majoritariamente a partir de interpretação qualitativa dos campos de pressão ou imagens de satélite pode não ser aplicável ao estudo de sistemas sinóticos atuantes em todas as regiões climáticas do planeta, pela dificuldade de identificação das massas de ar. Com exemplo, uma das razões para a escassa aplicação da metodologia da análise rítmica no Nordeste Brasileiro se deve à dificuldade de identificação das massas de ar a partir dos padrões de circulação da atmosfera ou campos de pressão. Nesses casos, a investigação da natureza das massas de ar torna-se imprescindível aos estudos de tipos de tempo.

Nesse sentido, Bower et al. (2007) destacam que estudos dos campos de pressão pouco revelam a respeito da natureza das massas de ar e, para esse fim, é necessário o estudo dos tipos de tempo a partir da identificação de padrões sinóticos dos elementos meteorológicos, associados às respectivas massas de ar, com auxílio da estatística multivariada. Compreende-se que o estabelecimento de valores de referência horários dos tipos de tempo sinóticos, de

maneira objetiva, é uma ferramenta importante para identificação das massas de ar, servindo de subsídio para análise genética diária.

Diante do exposto, acredita-se que a incorporação da análise climática sinótica à climatologia geográfica ampliaria a capacidade analítica dos estudos de regionalização climática, a partir da absorção de metodologias semiautomáticas, pois os resultados das análises automáticas e dos estudos dinâmicos (ou genéticos) podem ser aplicados de maneira complementar.

### **3.1.3 Aplicabilidade dos estudos de tipos sinóticos de tempo na análise de tendência climática**

Entre as aplicações dos estudos de classificação sinótica dos climas, destaca-se a análise de tendência. No contexto dos estudos de variabilidade e mudança climática, a utilização da circulação atmosférica apresenta importância para melhores caracterizações das conexões entre a superfície do planeta e a atmosfera, bem como na compreensão dos possíveis impactos relativos à mudança do clima sobre os sistemas ambientais (EL KENAWY et al., 2014). Nesse tipo de abordagem, os grupos climáticos são utilizados, frequentemente, de duas maneiras distintas: a primeira delas - e mais habitual - refere-se à tendência de parâmetros climáticos isolados como a precipitação e a temperatura, e a segunda consiste na utilização da tendência das frequências dos tipos de tempo ou das massas de ar.

Nos estudos que avaliam as tendências dos parâmetros atmosféricos isolados, os grupos climáticos são delimitados previamente por análise de componentes principais e de agrupamento. Posteriormente, é investigada a tendência das variáveis selecionadas para cada grupo ou região climática, em diversas escalas de tempo. Logobardi e Villani (2010) analisaram a tendência da precipitação no sul da Itália a partir de uma série temporal de cinquenta anos. Esses autores utilizaram estatística multivariada, AA (método hierárquico de Ward), para determinar os tipos climáticos por similaridade entre variáveis meteorológicas. Para os grupos delimitados, foi feita a análise de tendência com significância estatística obtida pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall. Foi constatada uma predominância de tendência anual negativa da precipitação, e uma tendência positiva para a estação do verão.

Apesar da importância atribuída aos estudos de tendência de variáveis isoladas, Kalkstein et al. (1990) afirmam que os estudos que utilizam longas séries de temperatura para investigar a possibilidade de mudanças climáticas têm apresentado resultados conflituosos. Nessa ótica, a avaliação de tendências de mudanças climáticas a partir de variáveis isoladas não

é suficiente para alcançar resultados robustos a respeito de mudanças climáticas. Por esta razão, os autores propõem a utilização das massas de ar, com base na abordagem da climatologia sinótica, pois é possível que as séries de variáveis isoladas estejam conduzindo os estudos a interpretações equivocadas com base em variações ou mudanças locais.

Knight et al. (2008) destacam que poucos estudos têm se preocupado com a variação climática das massas de ar ou tipos de tempo. Esses autores afirmam que as análises de tendência a partir das massas de ar são importantes pois os sistemas ambientais e os organismos não respondem apenas à variação de um componente atmosférico, mas sim às variações de um conjunto de componentes. Com base nesse pressuposto, Knight et al. (2008) aplicaram o Sistema de Classificação Sinótica Espacial (SCSE) na análise de tendência de frequência de atuação das massas de ar nos Estados Unidos, para o período de 1948 – 2005. Foi constatado aumento na atuação das massas quentes e úmidas e diminuição da frequência das massas frias e secas.

A partir de uma classificação sinótica dos tipos de tempo, com base nos campos barométricos, El Kenawy et al. (2014) constataram uma tendência positiva dos tipos de tempo relacionados a condições secas e uma tendência negativa associada a padrões atmosféricos favoráveis à ocorrência de chuvas acima dos valores habituais na Arábia Saudita, entre 1960 e 2005.

Theobald et al. (2016) investigaram a existência de tendência da circulação sinótica e da precipitação nas Montanhas Nevadas, localizadas no sudeste da Austrália. Foram utilizados tipos de tempo associados a dias com ocorrência de precipitação superior ou igual a dez milímetros. Os dias selecionados foram agrupados pelo método K-médias, a partir dos seguintes elementos meteorológicos: pressão ao nível do mar, temperatura, umidade e componentes de vento. Para a análise de tendência foi utilizada a Regressão Quadrada e a significância estatística foi verificada por meio do método de Mann-Kendall. Os autores constataram uma tendência de diminuição da precipitação diária e aumento decadal das chuvas, sugerindo a ocorrência de episódios mais concentrados e esparsos.

Constata-se que são utilizados nos estudos referenciados, preferencialmente, os métodos de agrupamento hierárquico de Ward e o não hierárquico do tipo K-médias, para a regionalização dos grupos climáticos. Quanto à análise de tendência, opta-se frequentemente pela aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall para avaliar a significância das tendências estatísticas encontradas nas séries climáticas.

Apesar da importância da utilização dos conceitos de massas de ar na análise de tendências, pela integração entre as variáveis climáticas, destaca-se que as falhas de dados nas

séries temporais representam um problema para a análise de séries temporais no caso do Nordeste Brasileiro.

Salviano et al. (2016) investigaram a existência de tendências climáticas de temperatura e precipitação no território brasileiro a partir do teste de Mann-Kendall. Esses autores constataram a existência de tendências positivas de temperatura para a maior parte do território nacional, em todos os meses do ano entre 1961 e 2011. Para a precipitação não foram observadas tendências significativas em mais de 70% do território. Na Região Nordeste do Brasil, as tendências positivas de valores de temperatura foram significativas na faixa litorânea, entretanto no interior semiárido as tendências não foram significativas. No semiárido do NEB, esses autores observaram tendências positivas de precipitação, durante o período seco (julho a dezembro), e negativas durante o mês de março.

Oliveira et al. (2017) analisaram a tendência climática dos eventos extremos de precipitação diária entre 1972 e 2002 na Região Nordeste. A região foi dividida em cinco sub-regiões climáticas a partir da técnica estatística de agrupamento pelo método de Ward, utilizando os dados mensais de precipitação. Para a análise de tendência linear foi utilizado o teste de Mann-Kendall em cada uma das sub-regiões. Verificou-se que a sub-região semiárida é a que apresenta os mais altos valores de precipitação diária, todavia, é a que possui o menor valor total de precipitação. Como tendência geral, observou-se que a estação seca tem se tornado ainda mais seca, e a estação úmida tem apresentado chuvas mais concentradas. A sub-região sul do NEB foi a que apresentou tendência com significância de estatística de diminuição dos eventos chuvosos.

No Semiárido do Nordeste, o cenário de previsão climática (apresentado pelos principais modelos) pessimista indica um aumento nas temperaturas de 2 a 4°C e para as chuvas uma redução de 15 a 25% até o final do século XXI. Em um cenário otimista, o aumento das temperaturas é de 1° a 3°C e a redução das chuvas em torno de 10 a 20% até o final do século. Sobre o balanço hídrico regional, os cenários apontam para um aumento da deficiência de água, especialmente para as áreas semiáridas. Nesses ambientes, o aumento da deficiência projetada varia de 2 - 3 mm de 2010 - 2040 e de até 6 - 9 mm entre 2071 - 2100 (MARENGO et al., 2011). Nesse sentido, o aumento da evapotranspiração e a diminuição das precipitações indica um aumento da aridez, especialmente no interior da região (SANTOS et al., 2010).

Em estudo de tendência em escala sub-regional, Carvalho et al. (2020) investigaram as séries temporais de precipitação, número de dias com chuvas e temperatura para quarenta e cinco estações da Região Nordeste. Esses autores identificaram a existência de tendência de redução do número de dias com chuva na faixa litorânea da região. Para as estações localizadas

a mais de 150 Km do litoral, foi constatada tendência de redução da precipitação e dos dias com chuva. No que se refere à temperatura, foram identificadas tendências de aumento em todas as estações da região, com exceção do posto de Maceió, no estado de Alagoas.

Estudos na Região Nordeste têm apresentado distinções locais, de acordo com as escalas espaciais e temporais utilizadas, para tendências de precipitação. Lacerda et al. (2016) constataram um aumento de 4°C na temperatura máxima diária no período de 1961 – 2009 e redução da precipitação. No município de Araripina (estado de Pernambuco), para a série climática de 1970 a 2012, Silva et al. (2018) demonstraram uma diminuição da precipitação na quadra chuvosa e aumento nos meses secos.

Nóbrega et al. (2015) verificaram uma tendência de aumento dos totais pluviométricos entre 1978 e 2010 para a maior parte do estado de Pernambuco, todavia verificaram que houve uma tendência de aumento da concentração das chuvas nas mesorregiões do Agreste e Sertão. Santos et al. (2009) observaram um aumento da umidade sobre o estado do Ceará (1935-2006), com maiores acréscimos para os índices de precipitação no norte do estado.

Para dados diários de temperaturas máximas e mínimas, séries temporais entre 1961 e 2014 apresentaram tendências regionais crescentes. Extremos diários de temperaturas mínimas têm sido observados em intervalos mais esparsos ao longo de tempo. No que se refere às precipitações diárias, padrões de eventos extremos concentrados em menos dias foram observados, com maior tendência, para o leste e norte do NEB (COSTA, et al., 2020).

Na Região Nordeste do Brasil, os estudos de tendências climáticas têm constatado, predominantemente, aumento dos valores de temperatura. Na escala regional, têm-se observado diminuição dos valores de precipitação. Porém, quanto aos estudos de séries temporais de precipitação em escalas locais, os resultados apresentam uma menor conformidade quanto à existência de tendência.

### **3.1.4 Classificações climáticas e suas relações com a fisionomia vegetal**

O clima, compreendido como fator determinante para a distribuição da vegetação sobre a superfície do planeta, influencia os ciclos biogeoquímicos em superfície através, principalmente, das variações sazonais de radiação solar, de temperatura e precipitação. A vegetação influencia o clima a partir das alterações nas características da superfície, por exemplo, através de variações no albedo, ou ainda por meio de mudanças na condutividade da água e na composição atmosférica. A maior parte dos estudos que investigaram essas relações

focaram nos processos biogeofísicos que se relacionam aos ciclos da água e ao balanço de energia (BROVKIN, 1997, 2002; BONAN et al., 2003).

Na escala planetária, as relações entre as regiões climáticas zonais e os tipos de vegetação foram amplamente descritas. Uma das primeiras análises, a partir de uma abordagem geográfica, a respeito das relações entre clima e vegetação foi feita por Humbolt. As regiões de baixa latitude, quentes e úmidas associam-se às formações de florestais úmidas. Os subtrópicos, relacionados aos climas secos são relacionados à distribuição dos grandes desertos quentes. As regiões temperadas, das médias latitudes são descritas como as áreas preferenciais para ocorrência das florestas temperadas estacionais. As altas latitudes polares são as zonas latitudinais das formações de tundra. Em escalas de análise de maior detalhe, locais ou até regionais, controles ambientais como tipo de solos ou a topografia podem sobrepor a influência climática sobre a distribuição das fitofisionomias nas paisagens (PRENTICE et al., 1992; BROVKIN, 2002).

A vegetação foi utilizada como fonte de informações climáticas para diversas classificações clássicas do clima em escala global, como a de Köppen (1936) e a de Holdridge (1947). O sistema de classificação de climas de Köppen apresentou as classes climáticas com limites similares àqueles observados para os tipos de vegetação, influenciados pela sazonalidade da temperatura e precipitação. No esquema de Holdridge, a vegetação natural foi relacionada ao clima por meio das variáveis precipitação anual e variação sazonal da temperatura (PRENTICE et al., 1992). Em escala continental, regional ou local, apesar de maior complexidade dos fatores relacionados à distribuição da vegetação, há estudos que investigaram a influência do clima sobre a fitofisionomia ou até tipos de plantas (KARLSKEN et al., 2003, 2005).

Pineda-Martínez e Carbajal (2017) aplicaram a AAH (pelo método K-médias e de Ward) às médias mensais de temperaturas máximas e mínimas e aos dados de precipitação mensal para o território mexicano. Com análise complementar, estes autores discutiram a espacialização do agrupamento das estações climáticas utilizando mapa de vegetação. Os grupos climáticos foram relacionados aos respectivos tipos, mais frequentes, de vegetação para cada conglomerado de estações. Esses autores indicaram que a vegetação pode funcionar como um bioindicador do clima.

Os climas podem ser classificados de acordo com critérios e objetivos específicos. Entre as abordagens que têm relacionado seus tipos à cobertura vegetal, destacam-se três metodologias centrais: (i) abordagens empíricas ou quantitativas (como as de Köppen e Thornthwaite), que utiliza valores numéricos, comumente de temperatura e precipitação; (ii)

abordagens genéticas (Walter), que consideram os mecanismos de circulação atmosférica global e das massas de ar relacionadas, e geralmente resultam na descrição de padrões atmosféricos sazonais; e (iii) as abordagens de duração que se baseiam na duração dos regimes térmicos anuais, e na duração das estações secas e chuvosas que afetam a distribuição da vegetação natural (BOX, 2016).

Entre os sistemas de classificação climática que adotaram limites associados a aspectos biogeográficos, destaca-se a proposta de Walter (1986). Nesse esquema de classificação, os principais grupos potenciais zonais de vegetação foram relacionados à circulação geral da atmosfera. O sistema genético de Walter é bem conhecido e possui, em parte, uma análise quantitativa, com a utilização da curva ombrotérmica, adaptada, de Gaussen (1954). Esse esquema de classificação climática reconheceu dez tipos básicos, que, na perspectiva de Box (2016), combinam melhor os tipos de biomas e as paisagens do que os 15 tipos, e suas variantes, da classificação de Köppen. Com base na construção de diagramas climáticos, referentes a centenas de postos meteorológicos distribuídos por todo o planeta, esse autor delimitou nove zonas climáticas. O autor adaptou os diagramas de Gaussen, em que a temperatura média mensal e a precipitação média mensal são relacionadas na escala de 1 para 2, de modo que a cada 10°C (temperatura) correspondam a 20 mm (chuva). Comparando as escalas, sempre que a temperatura superar a precipitação, será demarcado um mês seco. Considerando o clima como principal fator determinante da distribuição dos tipos de vegetação, atribui-se o nome de zonobiomas (ou geobiomas) aos biomas que ocorrem de maneira correlata, frequentemente, com as zonas climáticas. As zonas climáticas de Walter foram relacionadas a algarismos romanos que correspondem os tipos: (I) – Equatorial, (II) – Tropical de verão chuvoso, (III) – Subtropical árido, (IV) – Mediterrâneo, (Vm) – das costas oeste, (Ve) – Temperado Quente, (VI) – Temperado Típico, (VII) – Temperado Continental, (VIII) – Boreal e (IX) – Polar.

Diversos estudos (HERMANN e MOHR, 2011; PEINADO et al. 2012; RODRÍGUEZ et al., 2014) têm utilizado a proposta de classificação de Walter em análises bioclimáticas, pois trata-se de um método de simples aplicabilidade, que fornece uma visão integrada dos tipos potenciais de vegetação e das principais zonas climáticas da Terra.

Coutinho (2016) comparou mapas das zonas climáticas de Walter e Lieth (1960) com o mapa de vegetação do Brasil, elaborado pelo Projeto Radambrasil e identificou relações entre os limites de tipos de vegetação com as zonas climáticas e os zonobiomas. No Quadro 1 foi apresentado este resultado, com as classes com ocorrência na Região Nordeste do Brasil.

Quadro 1 - Zonas climáticas de Walter e Lieth (1960) e Zonobiomas do Nordeste Brasileiro.

<b>Zona Climática I – Tropical Pluvial: Zonobioma I – Savanas e Florestas Tropicais Pluviais</b>
Bioma Floresta Atlântica Densa Sempre Verde de Encosta (Mata Atlântica)
Bioma de Floresta Atlântica Densa Sempre Verde de Terras Baixas ou Planícies (Mata Atlântica)
Bioma de Floresta Atlântica Densa Sempre Verde de Restinga (Mata Atlântica)
Bioma de Floresta Atlântica Densa Sempre Verde de Manguezal (Mata Atlântica)
<b>Zona Climática II – Tropical Estacional: Zonobioma II – Florestas e Savanas Tropicais Estacionais</b>
Bioma de Floresta Tropical Estacional Densa Ripária (Ciliar ou Galeria) (Mata Atlântica)
Bioma de Floresta Tropical Estacional Densa Semidecidual (Mata Atlântica)
Bioma de Floresta Tropical Estacional Densa Decídua (Mata Atlântica)
<b>Zona Climática II – Tropical Estacional: Zonobioma II – Florestas e Savanas Tropicais Estacionais</b>
Bioma Savana Tropical Estacional (Cerrado)
Bioma Savana Tropical Estacional Semiárida (Caatinga)

Fonte: Coutinho (2016) adaptado.

As zonas climáticas I e II, apresentadas no Quadro 1, são descritas como aquelas relativas aos climas intertropicais. A Zona Climática Tropical Pluvial foi descrita como aquela que concentra os maiores volumes médios anuais de precipitação, estendendo-se em média entre 10°N e 5°S. A precipitação média mensal habitualmente supera os 100 mm. Além disso, é caracterizada por baixas amplitudes térmicas mensais e anuais, com maiores valores de variação diária da temperatura. Nessa zona climática ocorrem densas florestas úmidas e formações savânicas (geralmente correlacionadas às características dos solos). A Zona Climática Tropical Estacional (II) foi caracterizada por apresentar chuvas sazonais, geralmente concentradas no verão, e períodos secos recorrentemente durante o inverno. Ocorre ao norte e ao sul da zona I, com períodos secos cada vez maiores à medida em que se distancia do equador, até os 30° N e S, onde ocorrem os limites mais austrais ou setentrionais dessa zona climática (WALTER e LIETH, 1960).

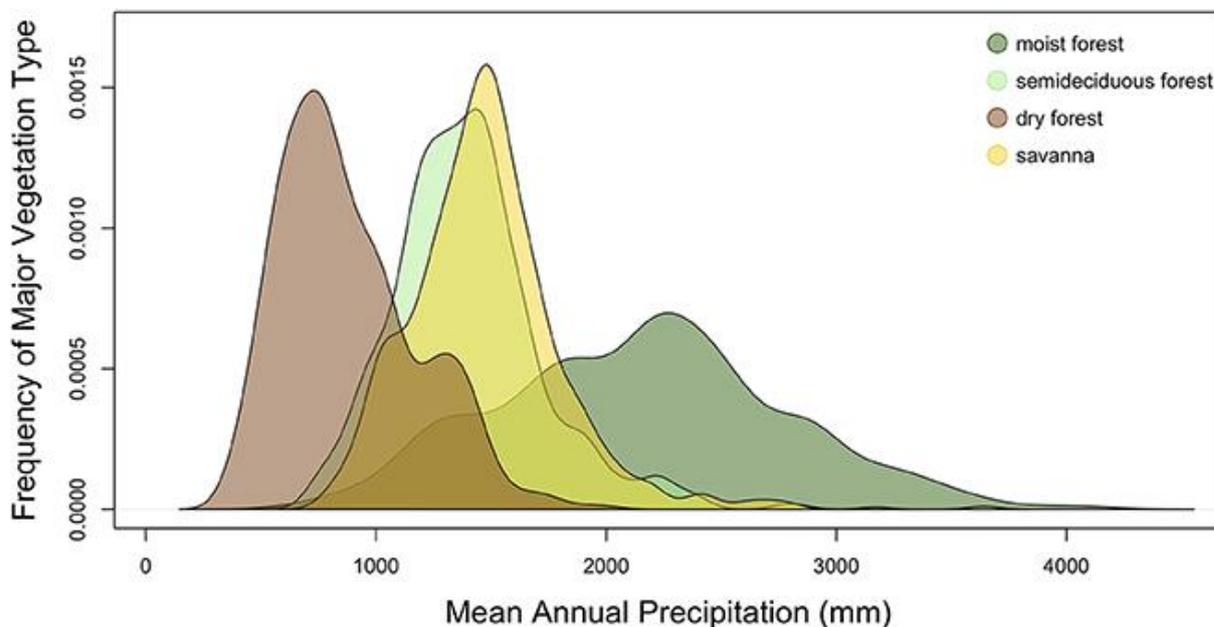
Coutinho (2006) caracterizou os principais biomas do Brasil relacionando-os às zonas climáticas descritas acima. Para o Nordeste do Brasil, três principais foram distinguidos: a Caatinga, a Mata Atlântica e o Cerrado. A Mata Atlântica foi classificada como um bioma de Floresta Tropical Pluvial do Zonobioma I. O Cerrado foi descrito como uma savana, do ponto de vista fisionômico, que reveste áreas de solos pobres com marcada sazonalidade das chuvas. A Caatinga foi descrita como um bioma de savana semiárida, pertencente ao zonobioma II. A fisionomia da Caatinga foi comparada a do Cerrado, sendo considerada semelhante, e caracterizada pela diversidade fisionômica, em consonância com a proposta de classificação do IBGE (2012).

Propostas recentes têm reavaliado a classificações dos biomas em para a América do Sul. Silva de Miranda et al. (2018) compilaram um banco de dados de 4103 espécies arbóreas ao longo das terras baixas do continente sul americano, aplicaram análise de agrupamento da composição florística e analisaram as características climáticas e edáficas dos sítios experimentais com objetivo de apresentar um mapa dos principais biomas continentais. Os resultados apresentaram as distinções fitofisionômicas, climáticas e edáficas que explicaram a distribuição espacial dos biomas mapeados. Foram apresentados cinco biomas: Floresta Amazônica, Floresta Atlântica, Savana, Chaco e Floresta Tropical Sazonal Seca. Estes biomas podem ser descritos em três tipos, as Florestas Úmidas (Amazônica e Atlântica), Savana (Cerrado) e Florestas Secas (Caatinga e Chaco).

A respeito dos biomas tropicais, caracterizados a partir do clima, fitofisionomias e características edáficas, foram discutidas as distinções entre os três principais tipos apresentados por Dexter et al. (2018): Florestas Úmidas, Florestas Secas e Savanas. Corroborando os resultados de Silva Miranda et al. (2018), a Floresta Seca foi considerada um dos biomas individualizados da zona tropical, com funções ecológicas próprias, capazes de distingui-la como bioma. A fitofisionomia relacionada às Florestas Secas varia desde formações arbóreas altas decíduais a arbustos lenhosos baixos, ocasionalmente não formando uma cobertura fechada, em condições de maiores deficiências hídrica. Esses autores destacaram que as florestas úmidas e as savanas são bem definidas enquanto biomas tropicais, entretanto as florestas secas têm sido menos estudadas ou negligenciadas. As formações Florestais Úmidas estariam relacionadas a presença de árvores altas com dossel próximo, onde a umidade é mantida durante a maior parte do ano. A Savana estaria a fisionomias vegetais abertas, onde as árvores não formam copas fechadas. Nestes ambientes é comum a ocorrência de gramíneas que favorecem a ocorrência de incêndios regulares.

As formações vegetacionais de Florestas Úmidas, Florestas Semidecíduais, Florestas Secas e Savanas, podem ser distinguidas inicialmente, em escala continental ou subcontinental, pelas diferenças climáticas. A chuva é o principal elemento climático que se relaciona à distribuição geográfica dos biomas tropicais de terras baixas. A Figura 3 apresenta a frequência dos tipos tropicais de vegetação em função da precipitação média anual. Em áreas com mais baixos volumes de precipitação, a partir da isoietta de 1000 mm, foi observada a predominância das formações fisionômicas de Florestas Secas, e nas áreas de máximas precipitações (>1500 mm) médias anuais foi observada a presença de Florestas Úmidas. Nas áreas de regimes pluviométricos intermediários, tem se constatado a maior frequência de fisionomia savânica ou de Florestas Semidecíduas (SILVA MIRANDA et al., 2018; DEXTER et al., 2018).

Figura 3 - Distribuição de frequência dos tipos de vegetação tropical que podem compor um mesmo bioma em função do gradiente de precipitação média.



Fonte: Dexter et al. (2018)

A precipitação, todavia, não é o único fator capaz de explicar a distribuição espacial dos tipos de vegetação da zona tropical. Os limites entre as Florestas Secas e as Savanas podem não apresentar consideráveis diferenças climáticas em alguns casos. Áreas de Florestas Secas no interior do bioma Cerrado foram relacionados à presença de solos mais férteis (notadamente aqueles decorrentes da decomposição do calcário, ricos em bases catiônicas). Dexter et al. (2018) relacionaram essa ocorrência ao maior poder de competição das formações arbóreas, pertencentes às Florestas Secas, com o extrato gramíneo dos cerrados nos solos mais férteis. Ademais, os solos rasos (geralmente relacionados aos afloramentos calcários) asseguram condições de maior estresse hídrico nesses afloramentos, favorecendo as espécies mais adaptas aos maiores déficits de água. As Savanas foram caracterizados por fitofisionomia de árvores esparsas (resistentes ao fogo) e pela maior ocorrência de gramíneas, inflamáveis, que se relacionam com a ocorrência sazonal de incêndios. De modo geral, os incêndios seriam menos recorrentes nas formações florestais (inclusive muitas espécies não toleram o fogo). As Florestas Semidecíduas não foram agrupadas a um bioma próprio, foram caracterizadas como fisionomia vegetal de zonas de transição entre as Florestas Úmidas e Secas, notadamente na Região Nordeste do Brasil. A transição entre essas formações também foi relacionada a uma composição química dos solos (mais ácidos nas zonas úmidas), entre as áreas secas e úmidas,

todavia, o fator climático é preponderante (SILVA MIRANDA et al., 2018; DEXTER et al. 2018).

Destaca-se que as propostas de classificação fitofisionômica apresentadas por Dexter et al. (2018) e Silva Miranda et al. (2018) distinguem-se daquela apresentada pelo IBGE (2012) quanto à classificação da Caatinga. Na proposta IBGE (2012), apesar de ser considerada um Bioma (como apontado por Dexter et al. 2018), a Caatinga não foi classificada como Floresta Seca. Na classificação dos tipos de vegetação do IBGE as categorias Florestas Deciduais ocorrem como manchas individualizadas, fora e dentro dos limites da Caatinga, como uma fisionomia vegetal distinta. Na mais recente atualização dos limites dos Biomas brasileiros (IBGE, 2019), as Florestas Estacionais Deciduais do oeste da Bahia, no limite com o Bioma Cerrado, foram inseridas no Bioma Caatinga. As florestas Estacionais Deciduais no limite leste do Bioma Caatinga foram inseridas na Mata Atlântica.

Na proposta atual de regionalização climática, será utilizada a classificação de vegetação do IBGE, considerando ser este o mapeamento que possui a maior precisão dos tipos de vegetação na escala territorial do Brasil. Todavia, ressalta-se a concordância com a proposta de inserção da Caatinga, do ponto de vista fisionômico, na categoria de Floresta Estacional Seca.

Em relação ao zoneamento bioclimático, a abordagem de Box (2016) apresentou contribuições importantes para análises climáticas genéticas integradas aos tipos de vegetação ou paisagens. Destacou que as classificações climáticas sempre estiveram relacionadas aos tipos de vegetação. Esse autor baseou-se na proposta de classificação de Walter e Lieth (1960) e Walter (1968, 1970, 1973, 1976, 1986) para expandir a classificação genética do clima, referida, através de uma metodologia de fácil aplicabilidade para o globo, reconhecendo subtipos e zonas de transição, relacionados aos tipos de solos e vegetação. Entre as vantagens e justificativas para o desenvolvimento dessa metodologia foram destacados os menores tipos de classes climáticas, a maior relação dos tipos climáticos com os mecanismos dinâmicos da atmosfera, a apresentação de um conjunto mais flexível e geral de descritores climáticos e subtipos, a maior unificação dos conceitos climáticos, a melhor relação entre as classes climáticas, os tipos de vegetação e de paisagens, e a maior flexibilidade dos limites climáticos (em mudança), do que os limites estabelecidos por classificações climáticas empíricas.

No Quadro 2 foram apresentados os climas zonais, os mecanismos genéticos e os tipos (potenciais) de vegetação zonal. Os limites zonais retidos caracterizam as mais abundantes paisagens da região intertropical e são resultado da expansão de classificação de Walter, elaborada por Box (2016).

Quadro 2 - Zonas climáticas mundiais, seus mecanismos genéticos e o tipo de vegetação potencial relacionada

TIPO DE CLIMA	NÚMERO	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	MECANISMOS GENÉTICOS		TIPO DE VEGETAÇÃO ZONAL
			VERÃO	INVERNO	
Equatorial	I	Condições quentes e úmidas ao longo do ano em terras baixas	ZCIT		Florestas Tropicais Pluviais
Tropical com verão chuvoso	II	Verões úmidos e invernos secos (com temperaturas mais amenas).	ZCIT	CAPS	Florestas úmidas, formações arbustivas e savanas derivadas

Legenda: ZCIT = Zona de Convergência Intertropical, CSAP = Cinturões Subtropicais de Altas Pressões.  
Fonte: Box (2016).

Os climas Equatoriais com Florestas Pluviais (I), foram descritos como a zona das elevadas umidades relativas do ar, elevados valores médios de temperaturas e de precipitação anual. Essa zona climática é influenciada durante todo o ano pela proximidade da ZCIT relacionada às baixas pressões equatoriais e às chuvas abundantes. Os climas Tropicais com verões úmidos (II) foram caracterizados pela alternância sazonal de estações chuvosas (no verão) e secas (no inverno). A dinâmica climática foi explicada pela influência da ZCIT, durante o período chuvoso (chamado de fase “verde”), e pela influência dos Cinturões de Altas Pressões de origem subtropical na estação seca (chamada de fase “marrom”). As paisagens zonais para o tipo climático II estiveram relacionadas a uma gradação fitofisionômica entre as formações florestais e savânicas (BOX, 2016).

Os resultados de Box (2016) também culminaram na sistematização das principais regiões zonais de vegetação, em consonância com um modelo geográfico global. O Quadro 3 apresentou as principais regiões fitofisionômicas que caracterizam as zonas tropicais e subtropicais do Brasil.

Quadro 3 - Regiões fitofisionômicas relacionadas aos climas tropicais e subtropicais

REGIÕES	AMÉRICAS	ÁFRICA	EURÁSIA	AUSTRÁLIA- NOVA ZELÂNDIA- OCEANIA- ANTÁRTICA
I. Florestas Tropicais Úmidas (e Sazonais sempre verdes)	Amazônia Brasileira, Brasil Atlântico, áreas à barlavento na América Central e Ilhas do Caribe	Bacia do Congo, costa da Guiné, e costa de Madagascar	Áreas a barlavento na península Malay, leste das Filipinas	Nova Guiné e arquipélagos da Melanésia, Micronésia e Polinésia
Subtropical	Sudeste do Brasil		Assam, sul de Myanmar	Montane Queensland
I-II Florestas Semidecíduas	Campeche-Yucatan, Colômbia, Venezuela, região sub amazônica no Brasil	Madagascar	Árias à barlavento no sul da Ásia e leste da Índia	Costa norte de Queensland
II. Florestas Tropicais secas e úmidas				
Florestas úmidas decíduas	Cuba - Hispaniola		Leste da Índia, Vietnã e leste de Java	
Florestas secas decíduas	Mesoamérica, incluindo o Caribe	Norte da África	Índia	Norte da Austrália
Formações Florestais e arbustiva espinhosa	Regiões secas da Venezuela e Colômbia, Caatingas e Chaco	Regiões sul e central da África, e áreas à sotavento em Madagascar	Sudeste da Ásia, áreas à sotavento do Sri Lanka	
Formações florestais e arbustivas semidecíduas,	Cerrado	Leste da África		Norte da Austrália

Fonte: Box (2016). Organizado pelo autor.

No que se refere aos tipos de vegetação do Nordeste do Brasil, incluídos no modelo zonal, apresentado na Tabela 4, destacam-se as formações florestais (com distintos gradientes de umidade) e arbustivas pertencentes às zonas climáticas I e II. Constatou-se que a proposta é confluyente com a de Coutinho (2016), quanto a caracterização das florestas atlânticas úmidas. Porém, sobre a Caatinga, a classificação distingue-se da fitofisionomia de “Savana-estépica e Savana Estacional Semiárida” apresentada nas propostas do IBGE (2012) e de Coutinho (2016), apesar de estarem enquadradas na mesma zona bioclimática (II). No modelo apresentado por Box (2016), a Caatinga é descrita como uma formação florestal-arbustiva espinhosa, relacionada à sazonalidade das chuvas, em maior correspondência com a classificação apresentada por Dexter et al. (2018). Nessas classificações, a região do Chaco apresenta o bioma com maior similaridade com a Caatinga, compondo o mesmo tipo zonal de biomas. O

cerrado, também inserido na Zona II, foi descrito como um complexo florestal-arbustivo semidecíduo. Na proposta de Box (2016), o termo Savana descreveu climas mais secos, na transição entre as Zonas II e III, com distribuição no México, Cuba, Llanos venezuelanos, Caribe, Colômbia, África subsaariana e Madagascar.

Os resultados dos estudos apresentados nesta seção corroboram a aplicabilidade dos tipos de vegetação no mapeamento de regiões climáticas, com maior correspondência, em escala continental ou subcontinental. À nível local, outros fatores ambientais podem ter maior relação com a distribuição das fitofisionomias das paisagens.

### 3.2 DINÂMICA CLIMÁTICA DO NORDESTE DO BRASILEIRO

A Região Nordeste do país, inserida na Zona Intertropical do planeta, apresenta uma expressiva variedade de climas, explicada pela interação entre os centros de ação climáticos e os fatores geográficos locais, com destaque para o relevo. Os climas têm como principal diferencial o volume de precipitação observado entre as zonas climatológicas, que variam desde tropicais úmidas a tropicais semiáridas. O clima regional é controlado essencialmente por três centros de ação principais: o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), o Anticiclone Semifixo do Atlântico Norte (ASAN) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A dinâmica atmosférica regional é determinada pela célula de circulação de Hadley-Walker a qual produz células de altas pressões nas regiões dos trópicos, onde o ar apresenta movimentação subsidente, e uma área de baixas pressões atmosféricas nas proximidades do Equador, a ZCIT (MOLION e BERNARDO, 2002).

Desse modo, o Nordeste Brasileiro é constantemente influenciado por massas de ar de origem tropical ou equatorial. Durante a maior parte do ano, os ventos alísios provenientes do ASAS que marcam a atuação da massa Tropical Atlântica (mTA), penetram no continente ocasionando tipos de tempo distintos entre o litoral e o interior. Nas porções litorâneas úmidas esses ventos, predominantemente oriundos dos quadrantes leste e sudeste, transportam advectivamente umidade oceânica e, ao convergirem com as brisas terrestres, produzem máximos de precipitação nas primeiras horas da manhã (DINIZ e PEREIRA, 2015; ALBUQUERQUE et al., 2013). Ao penetrarem no interior, esses ventos tornam-se secos em virtude da existência de uma camada de inversão psicrotérmica em baixos níveis que gera estabilidade atmosférica, como sequência predominam climas tropicais semiáridos e subúmidos secos na maior parte da região. Nas áreas semiáridas as precipitações médias anuais,

majoritariamente, estão compreendidas entre as isoietas de 500 – 750 mm (MOLION e BERNARDO, 2002; CORRÊA et al., 2019).

O clima semiárido predominante no interior e litoral norte da Região Nordeste possui sua gênese associada, portanto, às correntes subsidentes das células de Hadley-Walker e à camada de inversão dos alísios da massa Tropical Atlântica. Apesar de predominarem climas úmidos na faixa equatorial do planeta, sobre as regiões continentais, os climas secos do Nordeste Brasileiros não são exclusivos nessa latitude. Extensas áreas sobre os oceanos da faixa intertropical apresentam climas áridos e semiáridos, notadamente nas áreas de prolongamento da inversão psicotérmica do flanco oriental dos anticiclones subtropicais (BARRY e CHORLEY, 2013). Molion e Bernardo (2002) explicam a inexistência de mecanismos dinâmicos capazes de desencadear convecção úmida por períodos longos sobre a região, baseados na teoria de retroalimentação de Gomes Filho (1979):

A hipótese é que superfícies semiáridas possuem albedo alto, refletem mais radiação solar que as áreas vizinhas e apresentam uma coluna troposférica relativamente mais fria. Para que haja uma compensação energética, o ar aquece por compressão adiabática. Essa subsidência cria uma inversão psicotérmica, a cerca de 2 Km de altitude sobre a região, que seria a causa da inibição das chuvas, particularmente no período em que o centro da alta do Atlântico Sul está próximo à região. (MOLION e BERNARDO, 2002, p.1338)

Sobre o tema, Corrêa et al. (2019) afirmam que a circulação anticiclônica em baixos níveis prevalece durante o ano no Nordeste do Brasil, fornecendo condições adequadas para o estabelecimento de paisagens semiáridas. Além disso, esses autores demonstram que outras áreas de baixas latitudes possuem mecanismo semelhante de gênese climática semiárida, como ocorre nas paisagens secas do norte da América do Sul entre o litoral da Colômbia e da Venezuela, onde os ventos alísios de nordeste se deslocam paralelamente à costa e estão associados a fluxos subsidentes em baixos níveis.

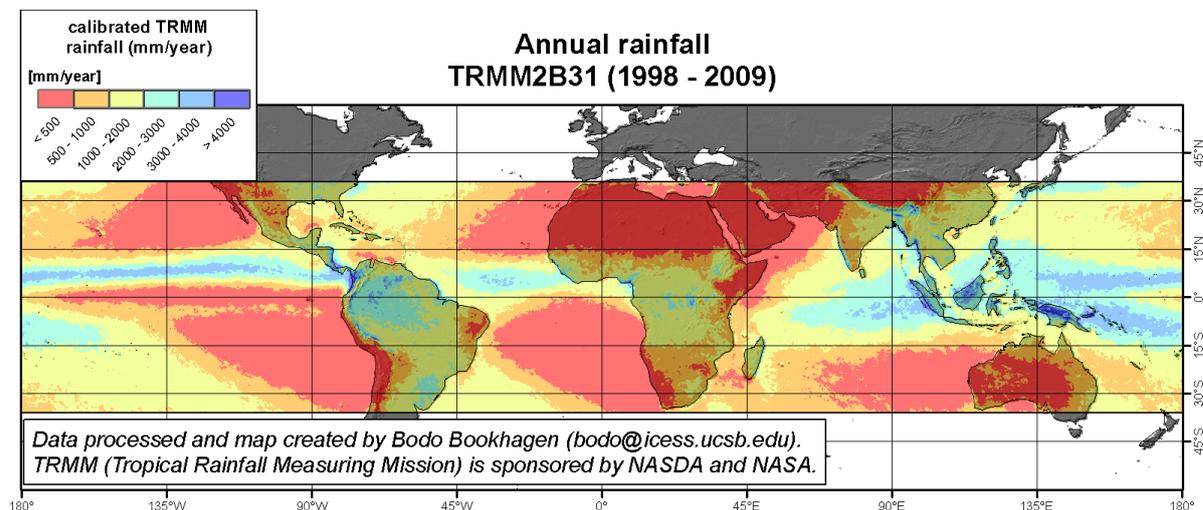
A Figura 4 corresponde a um mapa de precipitação média de alta resolução da região tropical do planeta elaborado por Bookhagen (2009), a partir dos dados estimados pela *Tropical Rainfall Measurement Mission* (TRMM). É possível observar que se prolonga uma faixa no sentido sudeste-noroeste (SE-NW) no oceano Atlântico, a partir do centro do ASAS em direção ao Nordeste Brasileiro, onde as precipitações são inferiores a 500 mm por ano. É notório que nos demais centros anticiclônicos semifixos do planeta ocorre um padrão semelhante de distribuição da precipitação sobre os oceanos. Fica evidente que o litoral norte da América do Sul, algumas ilhas do Caribe, as Ilhas Galápagos (no Oceano Pacífico equatorial) e o sul da ilha de Madagascar são caracterizados por volumes médios de precipitações abaixo dos 1000 mm anuais, e que essa isoietas possui o mesmo padrão de alongamento a partir do centro dos

anticiclones que demarcam a subsidência de Hadley-Walker. Nesse sentido, a escassez de chuvas e a presença de paisagens semiáridas nessas latitudes possui origem explicada pela inversão psicotérmica dos ventos alísios provenientes do setor oriental dos anticiclones.

Corroborando essa constatação, Satyamurty e Rosa (2019) ao analisarem a climatologia sinótica da América do Sul, por meio de imagens do *Geostationary Operational Environmental Satellite imagery*, concluíram que o semiárido da Região Nordeste do Brasil é uma extensão de um grande deserto oceânico centrado do sudoeste do Atlântico Sul.

O mapeamento dos climas mundiais estendidos para as áreas oceânicas, elaborado por Rohli et al. (2015) pelo método de Köppen-Geiger, mostra que as áreas sob ação dos ventos alísios oriundos da zona de máxima subsidência dos centros anticiclônicos possuem climas áridos ou semiáridos, inclusive sobre os oceanos tropicais e equatoriais. Esse fato corrobora a teoria de que as paisagens tropicais semiáridas (continentais ou insulares), associadas a biomas de complexos arbustivos ou florestais secos em baixa latitude, estão condicionadas à atuação de massas de ar associadas aos ventos alísios com baixa camada de inversão

Figura 4 - Precipitação média anual para a região tropical entre os anos de 1998-2009 obtida a partir da estimativa do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* produto 2B31.



Fonte: BOOKHAGEN, 2009.

A estabilidade atmosférica sobre o Nordeste setentrional é rompida com a atuação de sistemas meteorológicos sazonais. Sobre o interior e litoral norte da região, o principal mecanismo produtor de precipitação é a ZCIT, uma área de baixas pressões e máxima convergência em baixos níveis da atmosfera que atua na região intertropical do planeta. A ZCIT

possui deslocamento sazonal que acompanha o equador térmico terrestre (área mais aquecida sobre os oceanos na zona intertropical) e, por esta razão, sua atuação ocorre preferencialmente nos meses mais quentes (HASTENRATH, 1991; MOLION e BERNARDO, 2002). Para o Nordeste setentrional, a ZCIT pode ser considerada o sistema atmosférico mais importante na formação de chuvas ao atingir posições mais austrais em torno de 2°S a 4°S de latitude entre os meses de março e abril, favorecendo a ocorrência dos maiores volumes de precipitação nesse período. A entrada da ZCIT marca o início da estação chuvosa, com ocorrência de regime torrencial e formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical do tipo *cumulonimbus* (HASTENRATH e HELLER, 1977).

No litoral oriental da região os climas são úmidos com chuvas concentradas no período de outono e inverno. A estreita faixa úmida litorânea recebe, durante a maior parte do ano, o ar úmido em superfície proveniente das águas quentes do Atlântico e transportado pelos alísios de sudeste. Nessas localidades, os mecanismos das brisas associados às perturbações ondulatórias nos alísios (POA), também conhecidas como Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), favorecem abundância de precipitação entre os meses de maio e agosto, com totais anuais que variam entre 1200 a 2000 mm (CHAN, 1990; KOUADIO et al., 2012).

Sobre a variação dos totais médios de precipitação ao longo do litoral do Nordeste, Diniz e Pereira (2015) observaram que os maiores valores ocorrem nos setores convexos da costa, a exemplo do que se observa entre as áreas costeiras entre o sul do estado de Pernambuco e norte de Alagoas (onde os volumes totais anuais variam entre 1600 – 2000 mm). Já nas áreas côncavas da faixa litorânea, observa-se uma redução em comparação com os trechos côncavos, como ocorre entre o sul do estado de Alagoas e Sergipe (onde os valores médios de precipitação variam entre 1500 – 1000 mm). Essa variação é atribuída à região de convergência dos ventos alísios com a brisa terrestre, ao longo das convexidades a convergência ocorre na linha de costa e ao longo das concavidades as instabilidades se formam predominantemente sobre o oceano.

A formação desses distúrbios no Oceano Atlântico Sul pode ocorrer a partir da convergência dos ventos de sul associados a frentes frias com os alísios de leste-sudeste (E-SE), ou ainda podem ser ocasionados pela convergência das rajadas de ventos produzidas pelos aglomerados de nuvens *cumulonimbus* da ZCIT, ao convergirem com os alísios. Destaca-se que sobre o oceano esses distúrbios, na maioria das vezes, não conseguem se desenvolver em razão da persistente inversão psicrotérmica no campo de propagação dos alísios. Todavia, ao atingirem a costa essas perturbações se intensificam por convergência nas primeiras horas da manhã, quando em consonância com a brisa terrestre, e podem provocar precipitações diárias acima de 100 mm. Em associação com a brisa marinha, as POAs podem penetrar a até 300 km

no continente, porém essas intrusões são raras, sendo mais comum a dissipação do sistema com tendência a formação de nuvens estratiformes, com produção de baixas precipitações, à medida que avança sobre o continente (YAMAZAKI e RAO, 1977; CAVALCANTI e KOUSKY, 1982; MOLION e BERNARDO, 2002).

Gomes et al. (2019), investigaram a climatologia das ondas originárias de leste, que caracterizam as perturbações no campo de propagação dos ventos alísios. Estes autores utilizaram dados de reanálise e imagens de satélite para identificar os eventos, também conhecidos como Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), no oceano Atlântico Sul. Esses autores identificaram 518 eventos ao longo de 21 anos, dos quais 97% atingiram a costa do NEB. A ocorrência desses distúrbios foi mais frequente entre os meses de abril a agosto, sendo 64% deles de natureza convectiva. Ademais, observaram que os DOLs podem ser originados a partir de quatro sistemas atmosféricos: frentes frias, aglomerados convectivos da costa da África, ZCIT e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis.

A partir das informações anteriores, fica evidente que o conhecimento da circulação sazonal atmosférica sazonal na América do Sul é essencial para compreensão da dinâmica climática do Nordeste Brasileiro, pois a mudança das estações ano reflete na disponibilidade hídrica e, conseqüente, nos ciclos biofísicos dos ecossistemas. Durante o verão austral, uma forte convergência em baixos níveis, formada a partir do aquecimento continental, se estabelece no centro oeste da região amazônica provocando uma divergência em altitude (conhecida como Alta da Bolívia (AB)). A formação da AB gera um escoamento que se conecta a um centro de baixa pressão em alta troposfera, favorecendo a formação de um Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN), o qual produz correntes de ar subsidentes a partir de seu centro, em direção a baixa troposfera, sobre o oceano Atlântico Sul e parte do Nordeste Brasileiro. Entre a AB e o VCAN se estabelece um corredor de umidade no sentido NO-SE, denominado de Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), a partir de um jato em baixos níveis que transporta a umidade amazônica para o interior do continente. O avanço de uma frente fria pode fortalecer o transporte de umidade, o que gera intensificação da convergência em baixos níveis e origina a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS consiste no principal mecanismo de produção de chuvas nas regiões Centro-Oeste, sudeste e sul do Brasil; no Nordeste os máximos de precipitação em dezembro no sul da Bahia estão associados à atuação da ZCAS. Sobre o setor norte do da Região Nordeste a atuação desse sistema atmosférico é esporádica (MOLION e BERNARDO, 2002; REBOÍTA et al., 2010; REBOÍTA et al., 2012).

O VCAN, que compõe o mecanismo clássico de circulação atmosférica no verão austral, é um sistema sinótico que produz dois tipos de tempo distintos e irregularidade nas

precipitações sobre o Nordeste setentrional. Esse sistema é caracterizado por uma baixa pressão em alta troposfera, com ar frio em seu centro (FRANK, 1970). Além disso, o centro dos VCAN é caracterizado por uma corrente subsidente de ar que gera aquecimento adiabático, e estabilidade atmosférica em baixos níveis, na maioria dos casos observados sobre a Região Nordeste. Nas bordas do sistema formam-se áreas de instabilidade que produzem nuvens de grande desenvolvimento vertical. Os VCAN são sistemas transitórios que se formam sobre o Atlântico e podem avançar para interior do continente, e estão relacionados às irregulares precipitações de verão (GAN e KOUSKY, 1986; FERREIRA et al., 2009).

A partir do final do verão no hemisfério sul e início do outono, a instabilidade no centro da América do Sul diminui e é modificado o padrão de circulação regional. A desconfiguração da AB e dos episódios de VCAN (sobre o Nordeste Brasileiro) modificam a distribuição das chuvas sobre o continente. Ao mesmo tempo em que a subsidência na baixa troposfera sobre o nordeste do continente perde força, as águas aquecidas no oceano Atlântico Tropical Sul desencadeiam a migração do equador térmico para latitudes austrais, o que favorece a atuação da ZCIT no litoral norte e interior nordestino (MOLION e BERNARDO, 2002). Nesse período são registrados os máximos valores de precipitação para grande parte do semiárido brasileiro, com concentração das chuvas entre os meses de março e abril. A atuação da ZCIT está diretamente relacionada à intensidade do período chuvoso no semiárido, estando à atuação desse sistema no período mencionado, correlacionado à alternância entre ciclos secos e chuvosos. (HASTENRATH, 2006; HASTENRATH, 2012)

No inverno, a ZCIT migra, em seu ciclo sazonal, para o hemisfério norte, e há uma intensificação do ASAS e dos ventos alísios de sudeste. Essa estação é caracterizada por uma redução das chuvas no interior e litoral norte da região, e por ocorrência de chuvas abundantes no litoral oriental. O fortalecimento do ASAS marca o avanço da massa tropical atlântica, que produz estabilidade no interior do continente, especialmente nas depressões interplanálticas semiáridas (AB´SABER, 2003). Entre o litoral e as escarpas a barlavento do Planalto da Borborema, as perturbações no campo de POAs, gerados pela convergência de ventos de sul provenientes de frentes frias com os ventos de E-SE, produzem instabilidade. Para o setor oriental da região, esse período corresponde ao auge da estação chuvosa (FERREIRA, et al. 1990; MOLION e BERNARDO, 2002). Durante a primavera, a estabilidade avança sobre o Nordeste setentrional e inibe a ocorrência de chuvas, demarcando o período seco de maior abrangência espacial. No Quadro 4 é apresentada uma síntese a respeito dos principais sistemas sinóticos individualizados que atuam na Região Nordeste.

Além das diferenças sazonais de circulação atmosférica entre os setores úmidos e secos no Nordeste, destaca-se a intensa variabilidade interanual dos elementos climáticos (especialmente da precipitação). Esta variabilidade está associada a fenômenos atmosféricos e oceânicos como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) e ao Gradiente do Atlântico (NÓBREGA et al., 2006).

Quadro 4 - Características gerais e período preferencial dos principais sistemas sinóticos que atuam na Região Nordeste do Brasil

<b>SISTEMAS SINÓTICOS OU DE MESOESCALA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GERAIS</b>	<b>ESTAÇÕES PREFERENCIAIS DE ATUAÇÃO</b>
Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)	Zona de convergência dos ventos alísios, elevada convergência em baixos níveis, elevada cobertura de nuvens e precipitações abundantes.	Verão e outono
Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	Convergência em baixos níveis, elevada precipitação e precipitações abundantes.	Primavera e verão
Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POA)	Distúrbios no campo de propagação dos ventos alísios, instabilidade atmosférica e precipitações abundantes.	Outono e inverno
Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN)	Convergência em altos níveis e divergência em baixos níveis no centro do sistema, ocasionando tempo estável (quente e seco). Nas bordas do sistema ocorre convergência, com formação de instabilidade.	Primavera e Verão

Organizado pelo autor.

O El Niño representa a fase quente do fenômeno ENOS, e apresenta como principal consequência o deslocamento do ramo ascendente da célula de Walker da região equatorial amazônica para as áreas centrais do Pacífico equatorial (com desvios positivos de temperatura). Esta mudança produz centros ciclônicos em altitude sobre o Nordeste brasileiro e o Atlântico equatorial, com movimento do ar subsidente em direção aos baixos níveis da atmosfera. Quando estabelecido, esse padrão de circulação parece inibir a convecção sobre o Nordeste Brasileiro e diminuir os índices pluviométricos regionais. A fase fria do fenômeno ENOS, a La Niña, possui efeito oposto ao El Niño sobre o Brasil. As águas mais frias no Pacífico equatorial têm sido associadas a um aumento da convecção sobre o norte e nordeste da América do Sul, e,

consequentemente, a volumes de precipitação acima da média no setor norte da Região Nordeste (KAYANO e MOURA, 1988; MOLION E BERNARDO, 2002).

Estudos têm apontado que a existência de um gradiente térmico meridional, inter-hemisférico, no oceano Atlântico equatorial está relacionada à variabilidade das chuvas sobre o norte da Região Nordeste. O gradiente estaria associado aos campos de pressão atmosférica ao nível do mar sobre o Atlântico equatorial, influenciando o deslocamento sazonal da ZCIT na região intertropical. Nesse sentido, águas mais frias sobre o Atlântico equatorial sul (na pré-estação chuvosa do Nordeste Brasileiro) estariam relacionadas à atuação setentrional da ZCIT em relação a sua posição climatológica, reduzindo os índices pluviométricos sobre o norte e nordeste da América do Sul. Enquanto que a predominância de águas mais aquecidas sobre o setor meridional do Atlântico equatorial estaria relacionada a uma atuação mais ao sul da ZCIT (em relação a sua posição climatológica), favorecendo a ocorrência de índices pluviométricos elevados (NOBRE e SHUKLA, 1996).

Araújo et al. (2013) investigaram o impacto de eventos ENOS relacionados a gradientes interbaciais com o Modo Equatorial do Atlântico (MEA)<sup>1</sup> sobre a precipitação no norte e nordeste da América do Sul. Esses autores verificaram que no caso de MEA frio (ou quente) na fase inicial do El Niño (La Niña), é observada a composição de um gradiente interbacial (entre o Pacífico e Atlântico equatoriais) positivo (ou negativo), que se forma de março a maio e persiste de junho a agosto, capaz de fortalecer o efeito do El Niño (ou La Niña) sobre o período chuvoso regional. Nesse sentido, tanto o gradiente interbacial entre Pacífico e Atlântico formado pelo El Niño (ou La Niña) e MEA frio (ou quente), bem como o gradiente inter-hemisférico do Atlântico positivo (ou negativo), estão relacionados com a ocorrência de desvios negativos (ou positivos) da precipitação em grande parte do norte e nordeste da América do Sul.

As discussões apresentadas corroboram que o controle climático do setor setentrional da Região Nordeste do Brasil está relacionado majoritariamente a centros de ação tropicais e equatoriais. Os padrões de circulação atmosférica regionais consorciados aos fatores geográficos locais, controlam a dinâmica atmosférica e favorecem distintos ritmos climáticos associados a climas úmidos, subúmidos e semiáridos. Ademais, conclui-se que a variabilidade interanual do clima, em grande parte, pode ser explicada por mecanismos de interação de

---

<sup>1</sup> Ressalta-se que o MEA é definido por Zebiak (1993) como a média de anomalias de temperatura na superfície do mar na região delimitada em 4°S, 4°N, 20°W e 0° W. Os valores do índice MEA maiores que 0,4°C ou menores que -0,4°C indicam eventos positivos e negativos no Atlântico.

gradientes (dinâmicos e termodinâmicos) formados entre as bacias dos oceanos Atlântico e Pacífico.

### **3.2.1 Massas de ar e tipos de tempo na região Nordeste do Brasil**

O arcabouço conceitual da climatologia geográfica procura englobar análises dinâmicas, partindo do pressuposto de que a abordagem regional da gênese climática é fundamental na compreensão dos tipos de tempo e da variabilidade dos parâmetros atmosféricos (MONTEIRO, 1971; ZAVATTINI, 2009). Nos estudos sinóticos de tipos de tempo, a partir de abordagens semiautomáticas, parte-se de identificação de padrões das variáveis meteorológicas em superfície associados às massas de ar, para posteriormente investigar a dinâmica dos tipos de tempo (SHERIDAN, 2002; BOWER et al., 2007). Para ambas as abordagens, o conceito de massas de ar é bastante utilizado em consonância com os centros de ação climáticos, na procura de identificar os tipos de tempo determinantes das distintas regiões climáticas. Em nível metodológico, as abordagens do clima em mesoescala (regional), além de caracterizarem criteriosamente os fatores geográficos, procuram definir, a partir da análise das cartas sinóticas, imagens de satélite e da utilização dos dados de estações meteorológicas de superfície, os domínios climáticos das regiões (JESUS, 2008).

Para este estudo foram retidas as classes de massas de ar com atuação na Região Nordeste do país, baseadas naquelas descritas por Fontão e Zavattini (2007): massa Tropical Atlântica (mTA), massa Tropical Atlântica Continentalizada (mTAC), massa Tropical Continental (mTC) e massa Equatorial Continental (mEC). O Quadro 5 apresenta a síntese das principais massas de ar com base nos estudos de Serra e Ratisbona (1959, 1960), Andrade (1972), Nimer (1979), Mendonça e Danni-Oliveira (2007) e Fontão e Zavattini (2017), onde são descritos os critérios de classificação das mesmas.

No que se refere aos estudos em escala regional, que incorporaram a gênese climática e a atuação de massas de ar em suas análises, a maior parte tem sido produzida no centro-sul do território brasileiro. Na Região Nordeste, esses conceitos vêm sendo incorporados aos estudos climatológicos, todavia há carências de abordagens integrativas entre centros de ação climáticos, massas de ar, tipos sinóticos de tempo e o ritmo climático. Observa-se que muitos trabalhos não conseguem estabelecer conexões satisfatórias entre essas categorias analíticas do clima.

Quadro 5 - Tipo, origem, características gerais e situação sinótica em superfície das massas de ar que atuam na Região Nordeste do Brasil

<b>TIPO</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GERAIS</b>	<b>SITUAÇÃO SINÓTICA TÍPICA</b>
Tropical Atlântica (mTA)	Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul	Ar quente e úmido, com elevada cobertura de nuvens	Correntes advectivas de leste-sudeste, associadas à isóbaras de alta pressão provenientes do ASAS.
Tropical Atlântica Continentalizada (mTAC)	Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul	Ar quente e seco, elevada temperatura máxima, elevada taxa de insolação, baixa nebulosidade ou estratificação estável	Correntes advectivas de leste-sudeste, associadas a condições anticiclônicas
Tropical Continental (mTC)	Depressão do Chaco, região tropical do continente sul americano	Ar quente e seco, elevada taxa de insolação e baixa nebulosidade	Correntes advectivas de oeste, associadas a condições anticiclônicas
Equatorial Continental (mEC)	Amazônia Ocidental	Ar quente úmido, elevada nebulosidade	Condições instáveis relacionadas à intensa convecção

Organizado pelo autor.

Entre os temas que carecem de abordagens integrativas destaca-se o papel da Massa Tropical Atlântica (mTA) na composição da dinâmica climática do Nordeste Brasileiro. A mTA que atua sobre o Nordeste do Brasil (NEB) é pouco referenciada nas publicações das ciências climáticas contemporâneas, aparecendo de maneira mais enfática em abordagens clássicas com destaque para Andrade (1972) e Nimer (1979).

Entre os estudos clássicos da climatologia brasileira, Andrade (1972) destacou-se por apresentar uma das descrições mais detalhadas a respeito da influência da mTA na climatologia regional. Este autor considerou que esta massa de ar era formada por duas variantes individualizadas, contendo ambas, características físicas verticais semelhantes por terem origem no ASAS. De maneira geral, as massas de ar tropicais com origem nos anticiclones subtropicais oceânicos apresentam uma camada basal úmida e uma camada superior seca, separadas por uma inversão térmica consequente da compressão adiabática do ar subsidente das células anticlonais. Andrade (1972) considerou que a massa de ar associada aos ventos alísios provenientes do flanco ocidental do anticiclone, seria a variante atlântica (Ta), e atuaria de maneira mais intensa a partir do paralelo de 15°S sobre o território brasileiro, apresentando uma camada de inversão mais elevada em virtude de seu deslocamento sobre as águas quentes da

corrente do Brasil. A massa de ar associada aos alísios provenientes do flanco oriental do anticiclone se desloca, em parte do percurso até a costa do NEB, sobre a corrente fria de Benguela, inibindo um aquecimento basal suficiente para elevar o nível da camada de inversão térmica, conservando as características anticiclônicas. Por ter origem nas proximidades da costa seca do sudoeste africano esta variante, caracterizada pela maior estabilidade atmosférica, foi denominada de Tépida Kalahariana (Tk). Esta massa de ar seria responsável pela gênese do clima semiárido do NEB, pois a camada inversão dos alísios associada à atuação da massa Tk, produziria tipos de tempo associados a condições anticiclônicas no interior da região Nordeste. Os estudos de Andrade (1972) trouxeram contribuições fundamentais para a caracterização da dinâmica climática desta massa de ar, enfatizando o mecanismo de inversão dos alísios associado às massas de ar com origem nos anticiclones subtropicais.

No presente estudo, todavia, adotou-se a nomenclatura de massa Tropical Atlântica (mTA) para a ampla massa de ar com origem no ASAS, não distinguindo as variantes propostas por Andrade (1972) para os alísios provenientes dos flancos oriental e ocidental desta célula anticiclônica. Para distinguir o teor de umidade da mTA optou-se pela utilização da nomenclatura de massa Tropical Atlântica Continentalizada, para descrever a atuação desta massa de ar quando produz tipos de tempo quentes e secos no interior do continente, em consonância com Fontão e Zavattini (2017). Esta opção foi adotada considerando a origem da massa de ar no ASAS, sobre o Oceano Atlântico, não se tratando, portanto, de uma massa de ar continental com origem sobre o deserto de Kalahari. Ademais, considera-se que apesar da mais intensa subsidência no flanco oriental do ASAS, os alísios provenientes de ambos os flancos do anticiclone produzem condições de tempo estáveis e secas quando penetram no interior continental.

Baseado em estudos anteriores, Serra e Ratisbonna (1959), imprecisamente, classificaram o flanco setentrional da mTA como uma massa de ar individualizada denominada massa Equatorial Atlântica (mEA). Destacam-se, contudo, as limitações tecnológicas disponíveis aos estudos clássicos da climatologia brasileira. Porém, essa interpretação tem sido reproduzida em estudos recentes, consistindo em um problema teórico nas análises dinâmicas da climatologia brasileira. Estes autores descreveram a mEA com uma massa de ar constituída pelos ventos alísios de E-SE oriundos do Atlântico, e por duas correntes de ar associadas: uma inferior quente e úmida e outra superior quente e seca, separadas por uma camada de inversão térmica. Este autor explica, corroborando o estudo de Andrade (1972), que o acúmulo de umidade durante o percurso dos ventos alísios sobre o oceano e a elevação da descontinuidade térmica ao atingir o continente configura uma massa de ar instável na costa oriental do NEB;

Já no interior da região, onde predomina o clima semiárido, as características geográficas regionais (relevo e continentalidade) favorecem o rebaixamento da camada de inversão, proporcionando estabilidade. Consta-se que apesar do equívoco quanto a origem dessa massa de ar, os mecanismos termodinâmicos a ela relacionados foram bem descritos pelos autores.

A respeito das características verticais da mTA no seu deslocamento em direção ao interior do continente, estudos recentes de radiossondagem para detecção de dutos atmosféricos no município de Petrolina (oeste do estado de Pernambuco) têm corroborado a tese de que a presença dos ventos alísios de sudeste na baixa troposfera está relacionada a uma inversão de subsidência como consequência do domínio da alta subtropical. Esse mecanismo atua inibindo a ocorrência de chuvas nas paisagens semiáridas do NEB (CORREA et al. 2019).

Esse fato evidencia a origem subtropical dessa massa de ar seca, na célula anticiclônica semifixa do Atlântico Sul (ASAS). Portanto, como resultado de seus processos dinâmicos, as características térmicas e hidrométricas da mTA são resultantes da atuação do ar tropical. A nomenclatura de Equatorial não é apropriada para designar essa massa de ar, pois sua gênese é explicada pela divergência em baixos níveis da atmosfera resultante do ramo subsidente, da circulação Hadley-Walker, sobre a porção subtropical do oceano Atlântico Sul.

Barry e Chorley (2013) ao abordarem a natureza da área fonte das massas de ar destacam que aquelas massas com origem nas células subtropicais de alta pressão se caracterizam por apresentar altas temperaturas, acentuadas pela subsidência, elevada umidade nas camadas inferiores sobre o oceano e estratificação estável. Esses autores também chamam a atenção para a intensidade da subsidência dos anticiclones subtropicais. O flanco oriental das células anticiclônicas no hemisfério sul que avança no sentido SE-NW sobre as superfícies marinhas frias, a exemplo do ASAS na costa oeste da África, em direção a superfícies mais aquecidas produz condições mais estáveis que as margens ocidentais dos anticiclones. Essa constatação explica, em parte, a condição de estabilidade gerada pela mTA, associada aos alísios de sudeste originários do setor nordeste do ASAS, que atua durante maior parte do ano sobre NEB.

Nesse contexto dos processos dinâmicos da atmosfera que constituem a mTA, Molion e Bernardo (2002) sugeriram que a semiaridez do NEB está associada aos ramos subsidentes da circulação Hadley-Walker e uma inversão psicrotérmica sobre a região. Esse mecanismo, portanto, explicaria a gênese da massa de ar seco que atua sobre o semiárido brasileiro durante maior parte do tempo. Nesse processo, a circulação zonal da célula de Walker ascende sobre a região amazônica e se acopla ao movimento anticiclônico em altitude, conhecido como Alta da Bolívia, que causa divergência e uma posterior subsidência do ar a leste desse sistema, criando uma forte inversão psicrotérmica sobre o Atlântico Sul e leste da Região Nordeste.

Corroborando esses mecanismos genéticos da climatologia do semiárido brasileiro apresentados anteriormente, Reboita et al. (2016) concluíram que a semiaridez do NEB está associada a uma subsidência do ar por compressão catabática que eleva as temperaturas e diminui a umidade relativa do ar em superfície. Para isso, esses autores elaboraram perfis verticais das células de circulação zonal de Walker e meridional de Hadley centrados sobre o Planalto da Borborema. Os resultados indicaram que o arranjo geomorfológico desse planalto em interação com a circulação atmosférica regional acentua a semiaridez em áreas posicionadas a sotavento ou ameniza em áreas a barlavento, especialmente como resposta à circulação zonal.

Entretanto, o comportamento da mTA possui diferenciações importantes sobre as regiões brasileiras. Uma parcela dos ventos alísios que parte do ASAS é impulsionada em parte para o abastecimento de umidade da ZCIT. Outra parcela desses ventos, gerados no setor oriental do anticiclone, é direcionada durante todo o ano em direção ao Nordeste, onde penetra no interior continental e atingem máxima longitude em torno dos 10° de latitude sul (BORSATO, 2016). A partir dos 20° de latitude sul, já na Região Sudeste do Brasil (SEB), a geografia do continente e a circulação do ASAS não favorecem a penetração dos alísios com a mesma frequência e intensidade verificada na Região Nordeste. Nas proximidades da Região Sudeste, os alísios tendem a se deslocar em direção ao Atlântico, completando o escoamento do anticiclone, atuando com menor frequência em relação ao setor nordeste da América do Sul. No centro sul do Brasil, a penetração dos alísios sobre o continente ocorre nos meses de inverno, produzindo condições atmosféricas secas no interior do país e, ocasionalmente, chuvas orográficas nas encostas da Serra do Mar (ANDRADE, 1972).

A fim de diferenciar as características termodinâmicas da mTA sobre o território brasileiro, o presente estudo utilizará a classificação elaborada por Fontão e Zavattini (2017) em que são distinguidos dois componentes dessa massa de ar, os quais produzem tipos de tempo distintos. Os autores adotaram a nomenclatura de massa Tropical Atlântica (mTA) para representar a porção que atua no litoral oriental da região, e nas encostas de serras da faixa atlântica, caracterizada por valores elevados de temperatura e umidade. A nomenclatura de massa Tropical Atlântica Continentalizada (mTAC) foi adotada para designar a porção quente e seca, sempre precedida da mTA, que atua preferencialmente no interior do continente. Nesse sentido, a mTAC pode ser compreendida como uma massa remanescente da mTA com decréscimo da umidade ao penetrar no continente.

À medida que se afastam de sua área fonte as massas de ar podem sofrer mudanças a partir das trocas de calor e umidade com a superfície ou por processos dinâmicos atmosféricos (BARRY e CHORLEY, 2013). Sobre o Semiárido Brasileiro as condições termodinâmicas

predominantes da atmosfera estão relacionadas à interação da estrutura vertical da mTA com os fatores geográficos locais, especialmente as unidades de relevo mais elevadas. À medida que o ar avança sobre o continente perde a umidade adquirida em sua base no breve percurso sobre as águas quentes do Atlântico equatorial, o que aumenta a intensidade da subsidência.

Nesse processo, a perda de umidade superficial da mTA, agora seca (mTAC), gera mecanismos de retroalimentação positiva sobre a estabilidade termodinâmica observada nas camadas superiores da atmosfera, acentuando a subsidência próxima a superfície. Corroborando esse mecanismo termodinâmico do sistema climático regional, Barry e Chorley (2013) ressaltaram que o ar seco possui uma taxa de resfriamento adiabático mais elevada ao ascender através das correntes verticais na atmosfera e, por este motivo, tende a retornar a sua posição inicial ao encontrar uma camada de inversão mais aquecida por subsidência, gerando estabilidade. Essa condição de estabilidade termodinâmica gerada pela mTAC pode ser rompida através da atuação de forçantes dinâmicas de macroescala a exemplo da ZCIT.

Apesar dessas constatações sobre a importância da mTAC na configuração do clima semiárido brasileiro, a análise rítmica em climatologia não tem privilegiado a atuação dessa massa de ar. Borsato (2016) destaca que a delimitação dessa massa de ar é imprecisa a partir da análise restrita às cartas sinóticas. Por essa razão, o autor sugere que a mTAC sobre o NEB seja melhor delimitada pelas correntes de ar atuantes tipicamente de E-SE, delimitadas pelas altas pressões provenientes do ASAS. Massas de ar tropicais secas com origem nos anticiclones semifixos, como a mTAC, apresentam baixa umidade relativa do ar, altas temperaturas e estabilidade, dificultando a convecção atmosférica e a formação de chuva.

A mTA, originária no ASAS e associada a isóbaras de alta pressão, relaciona-se a correntes advectivas de leste e sudeste que atuam na costa nordestina durante quase todo o ano. Essa massa de ar produz tempo estável, úmido e quente nas proximidades do litoral durante a maior parte dos dias, porém, a convergência entre os alísios de sudeste e a brisa terrestre frequentemente gera instabilidade atmosférica durante a madrugada e as primeiras horas da manhã. As precipitações relacionadas a esse mecanismo geralmente são produzidas por nebulosidade estratiforme que avança do oceano em direção ao continente. A estabilidade também pode ser rompida em virtude do avanço de perturbações ondulatórias no campo de propagação dos alísios, que por vezes adquirem forma de complexos convectivos ao serem intensificadas pelo efeito das brisas nas proximidades do litoral. Este mecanismo atmosférico relacionado a maior parte da precipitação registrada no litoral oriental (MOLION e BERNARDO, 2002).

Outra massa de ar, atuante nas porções interiores da Região Nordeste, de origem na região tropical do continente sul americano é mTC. A configuração dessa massa de ar está relacionada à circulação sazonal da atmosfera no interior da América do Sul e sua expansão ocorre a partir da desconfiguração da baixa pressão do Chaco e da Alta da Bolívia durante o outono. A formação de correntes de ar subsidentes sobre o interior da América do Sul durante o inverno e início da primavera produz divergência em superfície. O ar quente e seco resultante desse mecanismo de circulação está relacionado ao tipo de tempo sinótico característico da mTC. Na Região Nordeste, essa massa de ar possui atuação mais evidente no setor oeste dos estados da Bahia e Maranhão e no sul do Piauí, gerando estabilidade atmosférica, elevadas temperaturas máximas diárias, baixa umidade do ar durante a tarde e baixa cobertura de nuvens (SERRA e RATISBONA, 1942; NIMER, 1979; MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Entre os tipos de tempo relacionados à instabilidade atmosférica, destacam-se aqueles condicionados pela atuação da massa Equatorial Continental. Essa massa de ar está associada a uma atmosfera quente e úmida nos baixos níveis, marcada pela atividade convectiva (especialmente no período da tarde). Originária da região equatorial da Amazônia ocidental, essa massa de ar se expande durante o verão austral em virtude do estabelecimento de extensas áreas de baixa pressão no interior da América do Sul, centradas nas isóbaras de 1008 hPa. Associada a correntes fracas de oeste, a mEC atua preferencialmente sobre o oeste nordestino, provocando chuvas no final da primavera e no verão. A gênese dessa massa de ar é explicada pela interação entre os ventos úmidos provenientes do Atlântico, com os fatores geográficos continentais, a destacar a Cordilheira dos Andes e a presença da Floresta Amazônica (SERRA e RATISBONA, 1942; ANDRADE, 1972; NIMER, 1979; MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Constatou-se que a dinâmica dos tipos sinóticos de tempo sobre a Região Nordeste do Brasil é resultante da atuação de massas de ar tropicais e de sistemas sinóticos individualizados. Portanto, a geografia dos climas regionais está estritamente condicionada à interação dos sistemas atmosféricos de mesoescala com os fatores locais, entre eles destaca-se o relevo.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas metodológicas foram apresentadas em três seções principais referentes à caracterização da área de estudo, à classificação climática e à regionalização das classes de climas sub-regionais. Optou-se pela utilização da escala regional para a análise climática, pois corresponde à dimensão dos centros de ações climáticos associados à gênese dos tipos de tempo.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E BASE CARTOGRÁFICA

Adotou-se a no presente estudo a base cartográfica do IBGE (Sistema Geodésico de Referências SIRGAS, 2000). Os arquivos *Shapefiles* foram obtidos para os limites territoriais do Brasil, Região Nordeste e América do Sul. As camadas vetoriais de caracterização foram os Biomas (redefinidos em 2019 na escala 1:250.000), as classes de solos (1:250.000), de vegetação primitiva (Radambrasil 1:250.000) e de geomorfologia (1:250.000). As informações cartográficas foram organizadas no *software* Qgis, versão 3.10 para Windows.

### 4.2 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA SINÓTICA PARA A REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Nesta etapa metodológica foram utilizados dados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de 88 estações distribuídas por todos os estados da Região Nordeste. Na Tabela 1, foram apresentadas as estações meteorológicas utilizadas no estudo com seus respectivos valores de latitude, longitude e altitude. Foram utilizados dados horários (00h, 12h e 18h UTC) de sete variáveis meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica ao nível do mar, direção do vento, velocidade do vento, cobertura de nuvens) e dados diários de precipitação entre os anos de 1980 e 2017. Os dias com dados faltosos, em pelo menos um dos horários, foram excluídos da análise.

Tabela 1 - Estações meteorológicas utilizadas no estudo com os seus respectivos dados referentes ao nome, localização e número de anos com dados entre os anos de 1980 e 2017.

NOME DA ESTAÇÃO	UNIDADE DA FEDERAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (M)	continua
					Nº DE ANOS COM DADOS
Água Branca	AL	-9,28	-37,90	26,45	24
Maceió	AL	-9,67	-35,70	522,77	24
Palmeira dos Índios	AL	-9,45	-36,70	249,09	25
Pão de Açúcar	AL	-9,75	-37,43	374,22	22
Porto de Pedras	AL	-9,18	-35,43	7,43	26
Alagoinhas	BA	-12,15	-38,43	870,67	28
Barra	BA	-11,08	-43,17	549,47	27
Barreiras	BA	-12,16	-45,01	531,43	29
Bom Jesus da Lapa	BA	-13,25	-43,41	450,3	28
Caetite	BA	-14,07	-42,48	145,31	28
Canavieiras	BA	-15,67	-38,95	755,61	27
Caravelas	BA	-17,74	-39,26	438,74	28
Carinhanha	BA	-14,28	-43,77	464,6	27
Cipo	BA	-11,08	-38,52	558,24	29
Correntina	BA	-13,33	-44,62	1105	28
Cruz das Almas	BA	-12,67	-39,08	130,92	27
Feira de Santana	BA	-12,20	-38,97	574,62	20
Guaratinga	BA	-16,73	-39,55	19,92	25
Irecê	BA	-11,30	-41,87	3,87	21
Itaberaba	BA	-12,52	-40,28	285,05	28
Itiruçu (Jaguaquara)	BA	-13,53	-40,12	259,38	22
Ituaçu	BA	-13,81	-41,30	192,83	20
Jacobina	BA	-11,17	-40,53	123,3	29
Lençóis	BA	-12,56	-41,39	547,56	29
Monte Santo	BA	-10,44	-39,33	103,56	27
Morro do Chapéu	BA	-11,22	-41,22	747,16	29
Paulo Afonso	BA	-9,37	-38,22	400,51	24
Remanso	BA	-9,63	-42,10	50,02	27
Salvador (Ondina)	BA	-13,01	-38,51	10	29
Santa Rita de Cássia	BA	-11,02	-44,52	51,41	25
Senhor do Bonfim	BA	-10,47	-40,18	103,5	27
Serrinha	BA	-11,63	-38,97	179,75	27
Vitória da Conquista	BA	-14,88	-40,80	74,36	28
Acarau	CE	-2,88	-40,13	16,5	27
Barbalha	CE	-7,32	-39,30	450,18	27

Tabela 1 - Estações meteorológicas utilizadas no estudo com os seus respectivos dados referentes ao nome, localização e número de anos com dados entre os anos de 1980 e 2017.

NOME DA ESTAÇÃO	UNIDADE DA FEDERAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (M)	continuação
					Nº DE ANOS COM DADOS
Campos Sales	CE	-7,00	-40,38	194,67	26
Crateus	CE	-5,17	-40,67	605,34	28
Fortaleza	CE	-3,77	-38,55	822,76	28
Guaramiranga	CE	-4,28	-39,00	274,9	27
Iguatu	CE	-6,37	-39,30	418,32	27
Jaguaruana	CE	-4,78	-37,77	150	28
Morada Nova	CE	-5,12	-38,37	226,46	33
Sobral	CE	-3,73	-40,33	217,67	27
Taua	CE	-6,00	-40,42	32	25
Alto Parnaíba	MA	-9,10	-45,93	79,5	38
Bacabal	MA	-4,22	-44,77	439,96	38
Balsas	MA	-7,53	-46,03	882,47	37
Barra do Corda	MA	-5,50	-45,23	123,27	38
Carolina	MA	-7,34	-47,46	603,66	38
Caxias	MA	-4,87	-43,35	1003,27	37
Chapadinha	MA	-3,75	-43,35	252,69	38
Colinas	MA	-6,03	-44,25	359,63	38
Imperatriz	MA	-5,53	-47,48	874,81	36
São Luiz	MA	-2,53	-44,22	153	38
Turiação	MA	-1,67	-45,37	109,62	28
Zé Doca	MA	-3,27	-45,65	45,28	38
Areia	PB	-6,97	-35,68	439,29	20
Campina Grande	PB	-7,22	-35,88	324,45	27
João Pessoa	PB	-7,10	-34,87	341,46	34
Monteiro	PB	-7,88	-37,07	296,82	26
Patos	PB	-7,02	-37,27	207,93	27
São Gonçalo	PB	-6,75	-38,22	25,07	23
Arcoverde	PE	-8,43	-37,05	401,58	31
Cabrobó	PE	-8,50	-39,31	169,85	28
Garanhuns	PE	-8,88	-36,52	208	34
Ouricuri	PE	-7,90	-40,05	459,28	29
Petrolina	PE	-9,38	-40,48	235,33	32
Recife (Curado)	PE	-8,05	-34,95	48,6	38
Surubim	PE	-7,83	-35,72	11,71	29
Triunfo	PE	-7,82	-38,12	233,06	28

Tabela 1 - Estações meteorológicas utilizadas no estudo com os seus respectivos dados referentes ao nome, localização e número de anos com dados entre os anos de 1980 e 2017.

NOME DA ESTAÇÃO	UNIDADE DA FEDERAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (M)	conclusão
					Nº DE ANOS COM DADOS
Caracol	PI	-9,28	-43,33	484,74	25
Floriano	PI	-6,77	-43,02	225,87	24
Parnaíba	PI	-3,08	-41,77	370,46	36
Paulistana	PI	-8,13	-41,13	161,12	28
Picos	PI	-7,03	-41,48	398,77	23
Piripiri	PI	-4,27	-41,78	4,72	28
São João do Piauí	PI	-8,35	-42,25	409,03	28
Teresina	PI	-5,08	-42,82	43,62	27
Apodi	RN	-5,62	-37,82	50,86	24
Caicó	RN	-6,47	-37,08	230,68	20
Ceará Mirim	RN	-5,65	-35,65	19,1	28
Cruzeta	RN	-6,43	-36,58	680,7	34
Florânia	RN	-6,12	-36,82	61,35	27
Macau	RN	-5,12	-36,77	583,5	23
Natal	RN	-5,92	-35,20	249,89	33
Aracaju	SE	-10,95	-37,05	44,06	28
Itabaianinha	SE	-11,27	-37,79	2,88	27
Propriá	SE	-10,21	-36,84	64,5	27

Fonte: INMET. Organizado pelo autor.

A metodologia apresentada nesta seção se baseou no arcabouço teórico dos trabalhos apresentados por Sheridan (2002) e Bower et al. (2007). Todavia, é importante considerar que esses autores desenvolveram uma metodologia aplicável às médias latitudes, e o que se objetivou no presente estudo foi uma aplicação dos procedimentos analíticos, propostos por esses autores, somados a uma adaptação teórica das massas de ar e sistemas sinóticos típicos dos climas tropicais e equatoriais. Por essa razão, também foi utilizado como base o desenvolvimento metodológico de Abdelmola (2009), que identificou os tipos de tempo no ambiente tropical do Sudão. Para isso foram utilizados os conceitos de massas de ar, proposto por Sheridan (2002) e Bower et al.(2007), e o de tipos sinóticos de tempo, utilizado por Abdelmola (2009). As massas de ar e sistemas sinóticos individualizados utilizados no presente estudo foram adaptados a partir daqueles descritos por Serra e Ratisbonna (1959, 1960), Andrade (1972), Nimer (1979), Mendonça e Danni-Oliveira (2007) e Fontão e Zavattini (2017).

#### 4.2.1 Definição dos grupos sazonais

A definição dos grupos climáticos sazonais correspondeu a uma etapa fundamental para a classificação sinótica dos climas. Consistiu na delimitação de regiões climáticas sazonais com intuito de identificar, em cada estação do ano, condições atmosféricas de superfície típicas das massas ar e dos sistemas sinóticos individualizados. Esse procedimento possuiu como base a análise covariante de sete variáveis meteorológicas sazonais nas 88 estações utilizadas no estudo, sendo selecionados para a descrição climática os dados abaixo:

- a) Temperatura média horária (00h, 12h e 18h UTC)
- b) Umidade relativa média horária (00h, 12h, 18h UTC)
- c) Pressão atmosférica ao nível do mar média horária (00h, 12h, 18h UTC)
- d) Direção média do vento média horária (00h, 12h, 18h UTC)
- e) Velocidade média horária do vento (00h, 12h, 18h UTC)
- f) Cobertura média horária de nuvens (00h, 12h, 18h UTC)
- g) Precipitação média para cada estação do ano.

A definição dos grupos sazonais foi composta por dois estágios: a ACP e o método de agrupamento hierárquico de Ward (utilizando a distância euclidiana ao quadrado). As análises estatísticas foram geradas no *software* InfoStat (DI RIENZO, 2015). A ACP foi aplicada com objetivo de redistribuir a variabilidade de um grande número de componentes, que contêm maior variância original, e reduzir a matriz de dados, tornando-a adequada à análise de agrupamento. A partir da ACP foram retidos aqueles componentes que apresentaram a maior variância entre as variáveis (BOWER et al. 2007; ABDELMOLA, 2009). Apenas os componentes principais que representaram até 80% de proporção da variância acumulada foram retidos.

Em seguida, os componentes principais (CP) explicativos da maior variância dos dados climáticos sazonais foram agrupadas por meio do método hierárquico de Ward, utilizando a distância euclidiana ao quadrado. O número de grupos de estações meteorológicas, ou sub-regiões climáticas, foi obtido pela análise do dendrograma associado e pela análise das características das variáveis atmosféricas relacionadas.

#### 4.2.2 Seleção das estações centroides

Para cada grupo sazonal foram determinadas estações meteorológicas centroides, sintéticas das condições atmosféricas. As estações centroides foram aquelas selecionadas para o estudo dos dias típicos, ou seja, aqueles mais representativos da atuação dos sistemas sinóticos individualizados e das massas de ar. A definição das estações centroides foi realizada pela seleção da estação meteorológica que apresentou os valores de suas variáveis mais próximas às médias das variáveis de seu grupo sazonal. Portanto, a estação centroide foi identificada como aquela que possui menor distância padronizada em relação aos valores centrais do grupo. A estação centroide de cada sub-região climática sazonal serviu como base para determinar os valores climáticos dos dias típicos (aqueles que apresentam características típicas de determinadas massas de ar ou sistemas sinóticos individualizados), sazonalmente. A estação centroide de cada grupo sazonal foi obtida a partir da equação abaixo:

$$d = \left| \frac{X_1 - x_1}{\theta} \right| + \left| \frac{X_2 - x_2}{\theta} \right| + \left| \frac{X_3 - x_3}{\theta} \right| + \dots + \left| \frac{X_n - x_n}{\theta} \right| \quad (\text{Eq. 01})$$

Em que  $d$  = distância padronizada do centroide do grupo,  $X$  = valor médio para cada variável,  $x$  = valor absoluto de cada variável e  $\theta$  = desvio padrão das variáveis.

#### 4.2.3 Seleção dos dias típicos para cada sistema sinótico

Após a determinação das estações centroides de cada grupo sazonal, foram identificados os intervalos das variáveis meteorológicas que caracterizam os dias típicos de atuação de cada sistema sinótico atuante. Nos estudos apresentados por Sheridan (2002) e Bower et al. (2007), os dias típicos, denominados “*seed days*”, são compreendidos como o dia característico de atuação de cada massa ar. Nesses estudos, é requerido o conhecimento prévio a respeito das características típicas de seis tipos de massas de ar comumente atuantes em médias latitudes (América do Norte e Europa), para as quais são relacionados os tipos de tempo identificados em cada dia típico.

Para o presente estudo, considerando a origem tropical e equatorial das massas de ar e dos sistemas sinóticos isolados que frequentemente atuam sobre a Região Nordeste, esses foram caracterizados com base em revisão teórica e apresentados no Quadro 1 e no Quadro 2 (Seção 3.2).

Para a análise dos dias típicos foram utilizados dados horários absolutos das 18h UTC de temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica velocidade do vento, direção do vento e precipitação diária. Optou-se pela utilização do horário das 18h considerando ser este o mais propício para a distinção entre massas de ar úmidas e secas, expressas pelas variações dos valores de umidade relativa e de temperatura do ar. Inicialmente foi aplicada a ACP seguida pela AAH para todas as estações centroides, a fim de identificar grupos de dias com características atmosféricas homogêneas (internamente para cada grupo) e heterogêneas (independentes entre os grupos distintos).

Como amostras sazonais de análise, foram selecionadas a semana mais quente do ano (como amostra do verão) e a semana mais fria (como amostra do inverno) para as médias térmicas das estações da Região Nordeste. As semanas amostrais do outono e primavera foram centradas entre as semanas amostrais de verão e inverno. As semanas amostrais delimitadas foram prolongadas por mais sete dias subsequentes, com intuito de que todos os tipos de tempo sinóticos, mais recorrentes em cada estação, fossem contemplados. Deste modo, foram apresentadas abaixo as “janelas sazonais” para análise dos dias típicos:

- a) Verão: 22 de fevereiro a 6 de março
- b) Outono: 3 de maio a 16 de maio
- c) Inverno: 19 de julho a 1 de agosto
- d) Primavera: 5 de novembro a 18 de novembro

Após a análise de agrupamento dos dias amostrais para cada estação do ano, foi feita a caracterização daqueles com valores das variáveis meteorológicas contidos no intervalo da média  $\pm$  o desvio padrão. Os dias enquadrados nesse intervalo foram caracterizados como dias típicos de cada grupo de dias para cada estação centroide sazonal. Como metodologia complementar para identificação das massas de ar e sistemas sinóticos isolados associados aos dias típicos, foram analisadas imagens de satélites, às 18h UTC e cartas sinóticas de superfície. Quando determinado dia não foi classificado como dia típico, esse foi categorizado como dia transicional (BOWER et al., 2007).

Como os intervalos das variáveis meteorológicas associadas aos dias típicos foram identificados para determinados dias, em determinada estação do ano, e para cada estação centroide, foi preciso reconhecer as variações sofridas por uma massa de ar em suas atuações em distintas épocas do ano, já que as características físicas de determinada massa de ar podem variar sazonalmente (BOWER et al. 2007).

#### **4.2.4 Caracterização dos tipos de tempo e dos padrões sinóticos para os dias típicos das estações centroides**

Os tipos de tempo foram caracterizados com base nos dados de superfície, referentes a cada estação centroide, pela análise de cartas sinóticas de superfície, de imagens de satélite (no horário de 18h UTC) e pela interpretação dos boletins técnicos disponíveis na plataforma *web* do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). As imagens de satélite foram obtidas na mesma plataforma virtual para o canal infravermelho do *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES).

As cartas sinóticas foram modificadas em ambiente do *software* Qgis (versão 3.10 para Windows), por meio do georreferenciamento e vetorização dos arquivos. Foram utilizadas as isóbaras e os sistemas sinóticos individualizados (frentes e cavados). Para a representação gráfica e apresentação das características sinóticas das janelas sazonais, foram selecionados os dias 03/03/2010 e 25/02/2015, para o verão, 08/05/2009 e 16/05/2013, para o outono, 01/08/2014 e 27/07/2017, para o inverno, 05/11/2013 e 12/11/2017, para a primavera. Foram selecionados dias típicos que coincidissem em maior número possível de estação meteorológicas e que estivessem entre os anos de 2008 e 2017 (pois são os anos que apresentam boletins técnicos disponíveis, utilizados para auxiliar a caracterização sinótica dos dias selecionados).

#### **4.2.5 Agrupamento climático final**

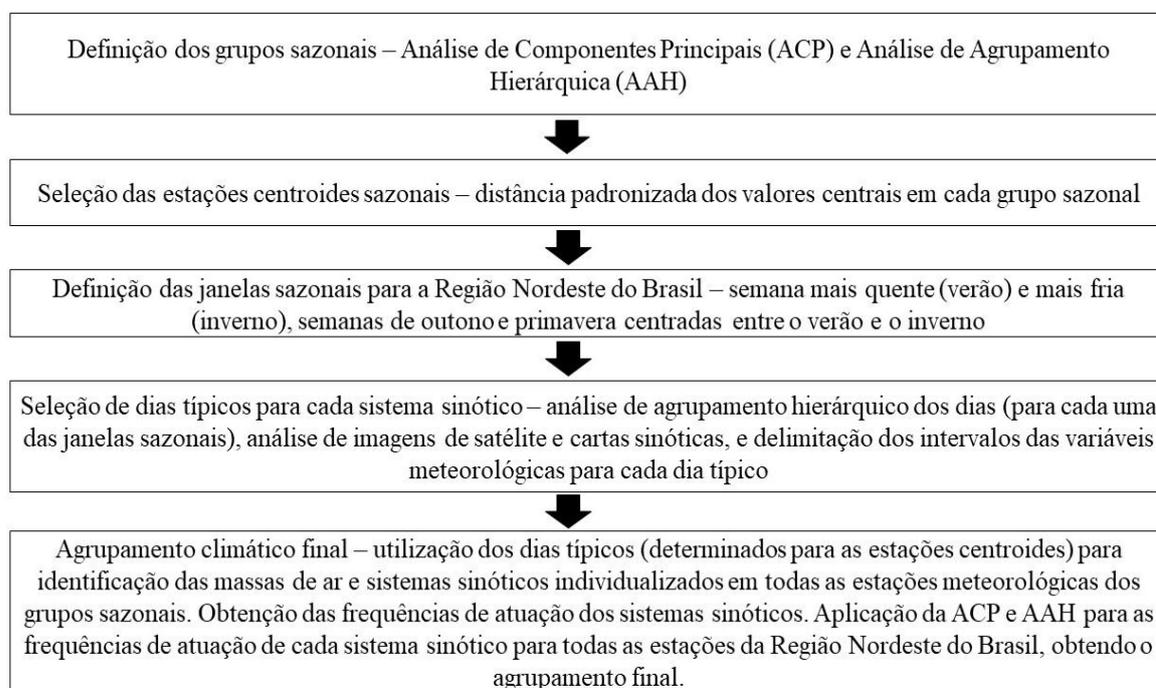
Os dias típicos, estabelecidos a partir das estações centroides, foram utilizados para identificação das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados atuantes, sazonalmente, nos locais das demais estações meteorológicas. O processo de utilização dos dias típicos das estações centroides (na caracterização dos tipos de tempo para as demais estações) baseou-se no pressuposto de similaridade climática entre as estações de cada grupo sazonal, otimizando o processo de caracterização das massas de ar, com a utilização das informações prévias a respeito dos tipos de tempo. Desse modo, os dias típicos de cada estação centroide foram utilizados para a caracterização das massas de ar nas demais estações meteorológicas dos respectivos grupos sazonais. Na proposta metodológica de Bower et al. (2007) os dias típicos foram transferidos para as demais estações, reduzindo o número de dias para a identificação dos sistemas sinóticos. Na proposta atual, os dias típicos das estações centroides foram utilizados apenas como auxílio, a partir de seus valores de referência, para a caracterização dos tipos de tempo das demais

estações. Desse modo, para cada uma das estações meteorológicas foram identificados os sistemas sinóticos individualizados e as massas de ar que atuaram ao longo das janelas sazonais.

Repetiu-se a aplicação da ACP e da AAH para cada estação, comparando os dados referentes a cada sistema sinótico com aqueles obtidos para as estações centroides. Para o agrupamento climático, foram identificadas as massas de ar a partir dos dados de superfície às 18h UTC para todas as estações meteorológicas. Para a regionalização final, optou-se pela utilização das frequências das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados de superfície em cada estação do ano.

Foram calculadas as frequências de atuação das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados para cada estação meteorológica sazonalmente. A partir das frequências relativas a cada massa de ar, para todas as 88 estações, foram feitas novas ACP e AAH com objetivo de obter as regiões climáticas finais para a Região Nordeste do Brasil. A aplicação da ACP apresentou os sistemas sinóticos mais relevantes para o agrupamento final das estações meteorológicas. Na Figura 5, foi apresentado sinteticamente o esquema metodológico para o procedimento de classificação sinótica adotado no presente estudo.

Figura 5 - Fluxograma metodológico da classificação climática sinótica para a Região Nordeste.



Organizado pelo autor.

#### **4.2.6 Mapeamento da frequência das massas de ar e dos sistemas sinóticos individualizados**

Foram mapeadas as frequências das massas de ar e os sistemas sinóticos individualizados que apresentaram maior significância estatística (determinada a partir da ACP) para o agrupamento dos tipos sinóticos de tempo para o NEB. Os arquivos do tipo *raster* foram gerados no *software* Qgis (versão 3.10 para Windows) a partir da interpolação das frequências médias sazonais dos sistemas sinóticos, utilizando o método da krigagem ordinária.

#### **4.2.7 Caracterização climática estática para os tipos climáticos finais**

Como método complementar, foi apresentada a caracterização de variáveis meteorológicas médias mensais para cada grupo climático. Os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e precipitação, obtidos na plataforma *web* BDMEP, foram apresentados graficamente com objetivo de comparar as similaridades e dissimilaridades climáticas entre os grupos, a partir de uma discussão estática-genética das características atmosféricas.

#### **4.2.8 Análise de tendência climática para os tipos climáticos finais**

Dados diários médios de temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar e precipitação (adquiridos na plataforma do BDMEP) foram utilizados para cada tipo climático. Foram analisadas séries temporais diárias entre 1993 e 2017 para os tipos climáticos, totalizando 9131 dias. Esse intervalo temporal foi utilizado em decorrência da continuidade de dados disponíveis nas séries temporais, as quais apresentavam falhas em anos anteriores.

O teste não paramétrico de Mann-Kendall foi utilizado com o objetivo de investigar a existência de tendência nas séries temporais, sendo considerado um nível de significância de 5%. Esse teste foi gerado no *software* estatístico *ActionStat* (para Windows), com a opção de previsão de tendência. Foram analisadas as tendências nas séries temporais completas e as tendências de magnitude e frequência dos eventos extremos.

Para identificação dos eventos extremos, os dados diários foram ordenados de modo crescente e foram retidos os valores contidos entre os 5% maiores (para temperaturas máximas diárias, precipitação e umidade relativa) e entre os 5% menores (de temperatura mínima e umidade relativa).

#### 4.2.9 Análise de diagramas climáticos e estimativa de fitofisionomia potencial

Os digramas climáticos foram elaborados com base na proposta de Walter e Lieth (1960), com objetivo de determinar o número de meses secos e as fisionomias vegetais potenciais para cada grupo climático (na seção seguinte será detalhada a metodologia de regionalização dos grupos climáticos, utilizando como um dos critérios a fitofisionomia). Os gráficos foram organizados de maneira que a precipitação representa o dobro da temperatura média mensal, os meses secos são aqueles em que a curva de precipitação é igual ou menor que a curva térmica (de modo que mês secos equivale a  $2P \leq T$ ).

#### 4.3 REGIONALIZAÇÃO CLIMÁTICA

Como proposta de refinamento da espacialização dos grupos climáticos, optou-se por um mapeamento manual das áreas relativas às classes climáticas a partir da função de criação de arquivos *shapefiles* no *software* Qgis (versão 3.10 para Windows). As regiões foram delimitadas a partir de três critérios espaciais; o primeiro deles foi referente à localização das estações meteorológicas pertencentes a cada conglomerado climático; o segundo esteve relacionado ao tipo de fisionomia de vegetação predominante associada a cada grupo de climas, de acordo com a carta de vegetação do IBGE; e o terceiro critério esteve relacionado à altitude das estações meteorológicas. Foi considerado que a variação topográfica é um fator de distinção entre os regimes térmicos, higrométricos e pluviométricos. A cota de 600 m de altitude foi considerada como limite das terras altas, apontada em estudos anteriores como altitude indicadora das principais mudanças ambientais no NEB. Essa altitude coincide com limites das principais unidades elevadas do relevo regional, como o Planalto da Borborema, Chapada Diamantina, Chapada do Araripe e Bacia Sedimentar do Tucano Jatobá (VASCONCELOS SOBRINHO, 1941; CAVALCANTI, 2016).

A base cartográfica de altitude foi gerada a partir de arquivo do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Foram extraídas as isolinhas de 600 m em formato *shapefile*.

As informações espaciais (arquivos vetoriais – *shapefiles*) referentes aos tipos de vegetação (com cobertura primitiva) foram adquiridas na plataforma *web* do IBGE, e são resultado do mapeamento do projeto Radambrasil (na escala de 1:250.000). Considerou-se que a vegetação é um elemento da paisagem sensível às variações climáticas, com respostas relacionadas, especialmente, a elementos como pluviosidade e umidade relativa nas paisagens tropicais (IBGE, 2012; CAVALCANTI, 2016). Foram sintetizadas as camadas de vegetação,

retendo as classes de Savana-Estépica (Caatinga), Savana (Cerrado), Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Formações Pioneiras e as zonas de contato ou tensão ecológica (Savana/ Floresta Estacional, Savana/ Floresta Ombrófila, Savana/ Formações Pioneiras, Savana/ Caatinga, Caatinga/ Floresta Estacional, Caatinga/ Floresta Ombrófila e Caatinga/ Formações Pioneiras).

Em seguida, as camadas das terras altas e de vegetação foram sobrepostas ao arquivo *shapefile* de pontos contendo o resultado do agrupamento (dos tipos climáticos). A partir de então, foram delimitadas as regiões climáticas do NEB a partir dos três critérios estabelecidos previamente. Para cada região climática puderam ser descritos os tipos de vegetação predominantes e a ocorrência de terras altas ou baixas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à Região Nordeste do Brasil, que possui área de 1.554.000 Km<sup>2</sup>, representando 18,0% do território nacional. Na Figura 6, foi apresentada a localização das estações meteorológicas utilizadas no estudo. Optou-se pela regionalização territorial dos biomas para descrição da área de estudo, por serem unidades territoriais regionais sintéticas das principais características naturais, como vegetação, climas e solos (IBGE, 2019). No Brasil, foram estabelecidos seis biomas, dos quais quatro estão presentes na Região Nordeste: Caatinga, Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia. Nas seções que se seguem serão apresentados com maior detalhamento os elementos das paisagens (fisionomias de vegetação, classes de solos e altitude) contidos nos biomas que compõem a Região Nordeste do Brasil.

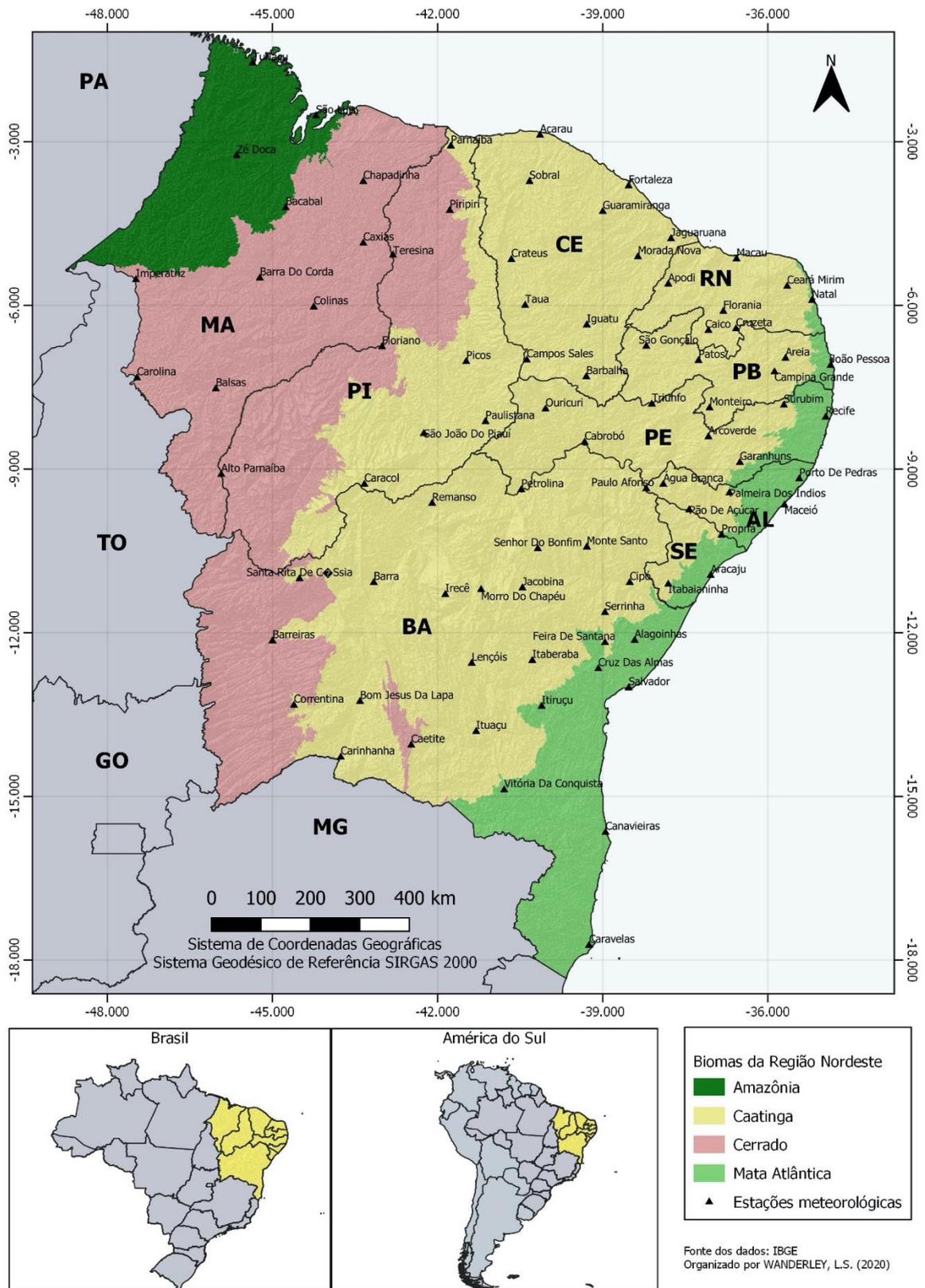
O maior bioma da Região Nordeste é a Caatinga, que corresponde a aproximadamente 10% da área territorial do país. Abrange o interior de grande parte dos estados nordestinos (com exceção do Maranhão), estendendo-se até o litoral setentrional da região, entre os estados do Ceará e do Rio Grande Norte. Esse bioma é predominantemente composto por paisagens de clima semiárido, associadas a fitofisionomia das Savanas-Estépicas (Caatinga), com uma importante diversidade biológica. Entre aqueles caracterizados por apresentarem climas secos, o bioma Caatinga apresenta uma condição climática seca bastante antiga, estabelecida, pelo menos, desde o último máximo glacial (IBGE, 2019). Nesse bioma, a vegetação natural ocupa percentual de 55,3%, sendo 49,6% representada pela fisionomia das Savanas-Estépicas e 5,7% ocupada pelas formações florestais. Os usos da terra mais representativos são as pastagens (34,5%), os cultivos anuais e perenes (3,0%) e os mosaicos de agricultura e pastagem (2,2%) (MapBiomas, 2018).

O bioma do Cerrado é bastante amplo e abrange o extremo oeste do estado Bahia, do Piauí e maior parte do Maranhão. Corresponde ao bioma onde predominam os climas tropicais estacionais com chuvas de verão e invernos secos. É um dos biomas de fisionomia vegetal savânica (predominante) mais biodiversos do planeta. Todavia, sofre grande pressão das atividades agropecuárias. No Cerrado, a vegetação nativa ocupa 54,7% da área total do bioma, onde 27,9% correspondem à fisionomia das savanas e 17,6% correspondem a formações florestais. Os principais usos da terra se associam às pastagens (31,4%) e aos cultivos anuais e perenes (10,2%) (MapBiomas, 2018).

O Bioma de Mata Atlântica está localizado na costa leste da Região Nordeste, desde o estado do Rio Grande do Norte até o estado da Bahia. De modo geral, predominam fisionomias vegetais florestais em climas úmidos e subúmidos, em solos quimicamente intemperizados. Trata-se de um dos biomas mais biodiversos do planeta, no entanto restam pequenas áreas das formações florestais originais. É o bioma com maior densidade populacional e que concentra o percentual maior de áreas urbanizadas (IBGE, 2019). A vegetação nativa corresponde a uma área percentual de 26,3%, sendo 25,7% representada por florestas. Os principais usos da terra são as pastagens (32,9%), mosaico de agricultura e pastagem (13,4%), cultivo anual e perene (12,2%) e cultivo semi perene (6,1%) (MapBiomas, 2018).

O Bioma da Amazônia ocupa a menor porção territorial da Região Nordeste, presente apenas no noroeste do estado do Maranhão. Esse bioma apresenta climas úmidos, marcados pela grande abundância de chuvas ao longo do ano. As fisionomias vegetais dominantes são representadas por florestas úmidas. A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo, apresenta uma densa rede hidrográfica, rica biodiversidade e solos profundos e lixiviados. As formações florestais representam 79,7% da área total desse bioma, outras formações não florestais (áreas de pastagem) representam 12,7% e os cursos de água 2,5% (MapBiomas, 2018).

Figura 6 - Localização da área de estudo, das estações meteorológicas e dos biomas da Região Nordeste do Brasil.



Organizado pelo autor.

### 5.1.1 Sistema de classificação fitogeográfico para a Região Nordeste do Brasil

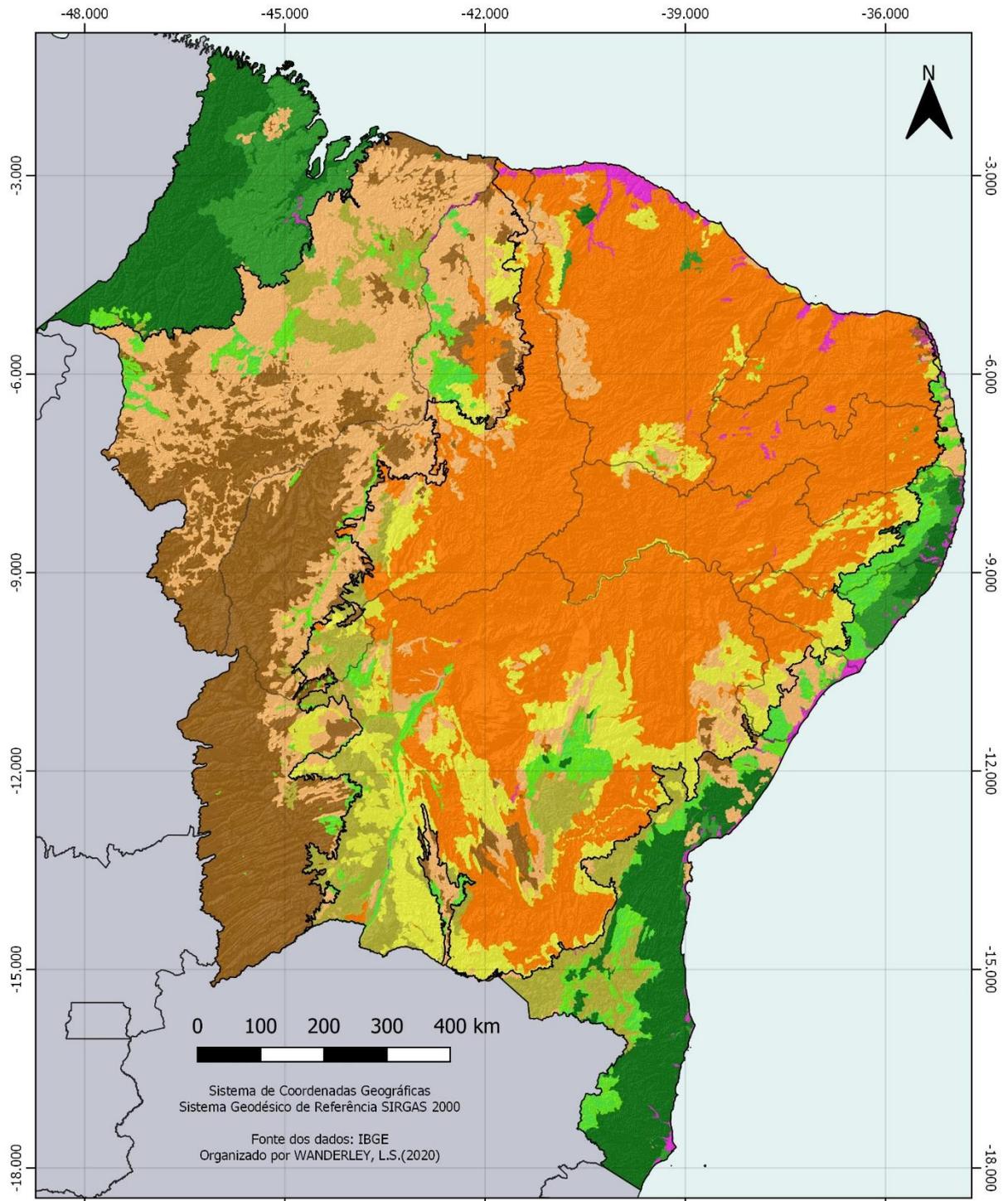
Foi utilizado, para caracterização fisionômica da vegetação, o esquema de classificação fitogeográfico proposto do Veloso et al. (1991). Foram adotadas as classes de formação, as subclasses de formação e os subgrupos de formação. A região florística do NEB é representada pelas formações vegetais da Savana-Estépica (Caatinga), Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual e Savana.

As classes de formação são referentes à estrutura da vegetação e às formas de vida observadas, sendo descritas, para o NEB, como florestal ou campestre. A formação florestal é definida um adensamento de árvores altas (entre 20 e 50 m), com limitada luminosidade que alcança o nível do solo. Nesse tipo de formação vegetal é limitado o desenvolvimento de espécies arbustivas e herbáceas. As formações campestres referem-se a fitofisionomias de indivíduos de menor porte gramíneo-lenhosos.

As subclasses de formação estão relacionadas ao clima, definindo o déficit hídrico a partir da curva ombrotérmica, categorizadas como ombrófila ou estacional. As formações ombrófilas podem estar relacionadas aos tipos climáticos com nenhum ou até quatro meses secos. As formações estacionais podem estar associadas a tipos climáticos com até seis meses secos, quando relacionadas a florestas, e superior a seis meses secos, quando associadas a formações campestres.

Os subgrupos de formação são relativos à fisionomia da vegetação. Podem ser do tipo densa ou aberta (de acordo com o número de meses secos), quando relacionados às florestas ombrófilas, do tipo Semidecidual (quatro a seis meses secos), Decidual quando vinculados às Florestas Estacionais (quatro a seis meses secos), do tipo Savana quando relacionada à formação campestre estacional (nenhum a seis meses secos) e do tipo Savana-Estépica quando associadas a formações campestres estacionais (mais de seis meses secos). Na Figura 7 foi apresentada a distribuição fitogeográfica da cobertura primitiva no NEB.

Figura 7 - Mapa de fitofisionomia (com cobertura primitiva) na Região Nordeste do Brasil.



Fitofisionomias	<span style="color: green;">■</span> Floresta Estacional Semidecidual	<span style="color: brown;">■</span> Savana (Cerrado)
<span style="color: orange;">■</span> Contato Savana	<span style="color: green;">■</span> Floresta Ombrófila Aberta	<span style="color: orange;">■</span> Savana-Estépica (Caatinga)
<span style="color: yellow;">■</span> Contato Savana-Estépica	<span style="color: darkgreen;">■</span> Floresta Ombrófila Densa	
<span style="color: olive;">■</span> Floresta Estacional Decidual	<span style="color: magenta;">■</span> Formação Pioneira	

Fonte dos dados: IBGE. Organizado pelo autor.

A Floresta Ombrófila Densa predomina nos climas tropicais ou equatoriais úmidos (sem estação seca ou com subseca, e com elevadas temperaturas médias anuais), e equivale às Florestas Tropicais Pluviais (Coutinho, 2016). É constituída por árvores de grande porte, latifoliadas, com dossel denso e altura de até 50 m. Ocorrem lianas, epífitas e ervas macrófilas nos estratos da floresta (IBGE, 2012). Na Região Nordeste do Brasil, a Floresta Ombrófila Densa ocorre nos Biomas Amazônia e Mata Atlântica, no leste e noroeste da região.

A Floresta Ombrófila Aberta diferencia-se do subgrupo Denso pela duração do período seco, que pode se estender por até quatro meses, e por quatro faciações florísticas. Pode apresentar fácies com cipós, com palmeiras, com bambus ou com “Sororocas” (*Phanekospermum guianensis*). Esse subgrupo de florestas constitui áreas de contato com as formações densas, nos biomas Amazônia e Mata Atlântica (IBGE, 2012).

A Floresta Estacional Semidecidual ocorre em climas estacionais, que acarretam a semideciduidade das árvores. Nesse tipo de formação florestal a porcentagem de árvores caducifólias encontra-se no intervalo entre 20 e 50%. Na Floresta Estacional Decidual, que também ocorrem em climas com distribuição sazonal das chuvas, a perda das folhas é superior a 50% nos indivíduos que compõe o tipo de vegetação (IBGE, 2012). Na Região Nordeste, esse tipo de formação vegetal ocorre de maneira mais abundante no bioma Mata Atlântica, em áreas com período seco entre quatro e seis meses secos. Porém são observadas áreas dessa fitofisionomia no bioma Caatinga, geralmente relacionadas a encostas de maior exposição à umidade (Brejos de exposição ou altitude), e nas margens do Rio São Francisco. No bioma Cerrado, a presença do subgrupo Semidecidual ocorre em zonas de transição, em contato com as formações florestais deciduais. No bioma Amazônico as Florestas Semidecíduais ocorrem no limite sul com o Cerrado.

A Savana (ou Cerrado) é um tipo de vegetação tropical que apresenta características xeromórficas, ocorrendo em diversos tipos climáticos (com até seis meses secos), geralmente relacionados a solos profundos e lixiviados do Brasil central. As fitofisionomias descritas como Savanas, no Brasil, são variadas. Estão inseridas classes de florestas (Cerradão) até formações campestres com um importante componente herbáceo. As savanas têm por área central o bioma Cerrado, que abrange o oeste do estado da Bahia, oeste do Piauí, nordeste e centro sul do Maranhão. Destaca-se que na Região Nordeste, o bioma Cerrado apresenta importantes áreas cobertas por fisionomias de transição entre a Savana e a Savana-Estépica. Nos Biomas Mata Atlântica e Caatinga ocorrem formações savânicas em pequenas áreas, sendo mais frequentes as zonas de tensão com a Caatinga e com as formações florestais.

A Savana-Estépica é uma formação caracterizada por apresentar um estrato lenhoso decidual e espinhoso, sendo a Caatinga o conjunto de composições florísticas representativas desta fitofisionomia no Nordeste brasileiro (IBGE, 2012). Essa fitofisionomia ocorre no Bioma Caatinga e ocupa a maior extensão entre as subclasses descritas, abrangendo grande parte do interior nordestino e as faixas litorâneas entre o estado do Rio Grande do Norte e do Ceará. A Savana-Estépica preferencialmente se associa às regiões de clima semiárido, com mais de seis meses secos durante o ano, sendo essa subclasse composta por plantas xerófilas.

No Quadro 6 foram organizadas as características, que definem os critérios de classificação fitogeográfica, dos tipos de vegetação do NEB.

Quadro 6 - Classificação fitogeográfica para o Nordeste Brasileiro

CLASSES DE FORMAÇÃO	SUBCLASSES DE FORMAÇÃO	MESES SECOS POR ANO	SUBGRUPOS DE FORMAÇÃO
Florestal	Ombrófila	0 - 2	Densa
		0 - 4	Aberta
	Estacional	4 - 6	Semidecidual
		4 - 6	Decidual
Campestre	Estacional	0 - 6	Savana
		> 6	Savana-estépica

Fonte: Veloso et al. (1991). Adaptado e organizado pelo autor.

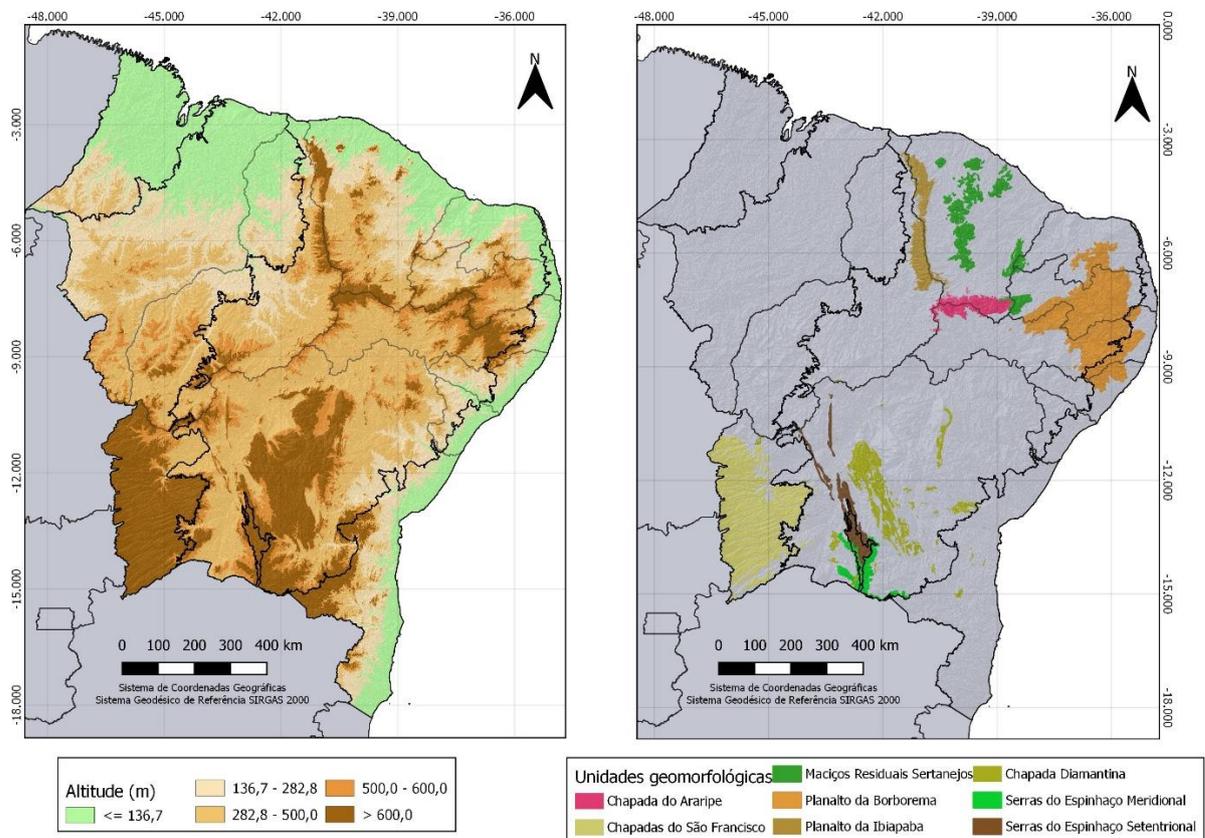
Além das classes apresentadas, foram incorporadas no estudo os tipos de vegetação relacionados ao sistema edáfico de primeira ocupação (as classes de vegetação pioneira) e os sistemas de transição (ou áreas de tensão ecológica). Entretanto, não foram diferenciados os subtipos dessas classes, uma vez que os limites climáticos são mais precisamente definidos pelas áreas *core* dos tipos principais. As vegetações pioneiras não apresentam respostas às distinções climáticas na zona tropical, as espécies apresentam adaptações universais com respostas edáficas aos ambientes instáveis onde ocorrem. As áreas de tensão ecológica entre tipos de vegetação são áreas de interpenetração de regiões florísticas, que não se definem bem de acordo com as características climáticas (IBGE, 2012).

### 5.1.2 Topografia e as principais unidades geomorfológicas de terras altas da Região Nordeste

Entre os fatores do clima com influência na dinâmica climática regional destaca-se o relevo, como foi apresentado em classificações climáticas anteriores. A orientação das terras altas e a exposição das vertentes às massas de ar na Região Nordeste representam duas das características geográficas mais importantes na dinâmica das paisagens regionais

(VASCONCELOS SOBRINHO, 1941). A Figura 8 apresenta a altitude, com destaque para as terras altas, definidas pela isoípsa de 600 m, e as terras baixas. Essa figura também apresenta as principais unidades geomorfológicas de terras altas da região: a Chapada do Araripe, as Chapadas do São Francisco, o Planalto da Borborema, o Planalto (ou chapada) do Ibiapaba, a Chapada Diamantina, as Serras do Espinhaço e os Maciços Residuais Sertanejos. Observou-se a predominância de terras baixas ao longo do setor setentrional da região, e maior ocorrência de terras altas no sul do Nordeste brasileiro (principalmente nos biomas Caatinga e Cerrado).

Figura 8 - Altitude (m) e as principais geomorfológicas correspondentes às terras altas.



Fonte dos dados: IBGE. Organizado pelo autor.

O relevo da Região Nordeste do Brasil tem sua evolução explicada por eventos estruturais, climáticos e paleoclimáticos. Entre os eventos tectônicos que originaram as estruturas existentes, destacam-se aqueles relativos ao Ciclo Brasileiro e a separação entre a América do Sul e a África, além de estruturas formadas a partir de reativações tectônicas cenozoicas (MAIA et al., 2010). Foram caracterizados os compartimentos do relevo de terras altas com maior importância regional na distinção das classes climáticas.

Entre as unidades de relevo com influência sobre a dinâmica climática regional, destaca-se o planalto da Borborema. Esse planalto é composto por um conjunto de terras com cota acima dos 200 m de altitude, podendo atingir a cota dos 1000 m nos pontos mais elevados, formado por um embasamento geológico cristalino pré-cambriano. Esse Planalto limita-se à leste pelos piemontes próximos à costa e a oeste pela Depressão Sertaneja. Destacam-se as distinções climáticas observadas entre as escarpas orientais (predominante úmidas) e ocidentais (submetidas a um clima semiárido). Ademais, o interior do Planalto é marcado por uma variação dos graus de aridez, desde setores semiáridos severos (como o Cariri Paraibano) em depressões no interior do Planalto, até às serras subúmidas ou úmidas (ANDRADE, 1972; CORREA et al., 2010).

A Chapada do Araripe, é um dos compartimentos que constituem a Bacia do Araripe, uma das mais importantes áreas de geologia sedimentar e da Região Nordeste. Essa bacia se localiza no interior nordestino, com formação intracratônica associada a um processo de rifteamento. A Chapada do Araripe apresenta formato alongado na direção leste-oeste (L-O), com topo plano (em terras altas) e encostas íngremes. A combinação de sua estrutura litológica e exposição do relevo às massas de ar úmidas de norte ou nordeste produz paisagens distintas no interior do bioma Caatinga. Os solos da chapada tendem a ser profundos (Latosolos) formados em condições de maior umidade e a cobertura vegetal varia entre zonas de tensão ecológica da Caatinga e do Cerrado (LIMA, et al. 2014).

A Chapada Diamantina, localizada na porção central da Bahia, também é um macrocompartimento de terras altas do Nordeste do Brasil com importância para a caracterização das paisagens. No interior do bioma Caatinga, as terras altas da Chapada Diamantina possibilitam a existência de características ambientais peculiares no que se refere aos climas e cobertura vegetal. Esse planalto possui uma gênese bastante antiga, relacionada com depósitos sedimentares neoproterozóicos, orogenia durante o Ciclo Brasileiro, metamorfização dos depósitos e reativação tectônica recente (Cenozóico) (DELAGADO et al, 1994; SANTOS, 2008). Na Chapada Diamantina são observadas áreas de tensão ecológica entre diversas fitofisionomias, com destaque para as zonas de contato entre a Savana, a Savana-Estépica e as Florestas Estacionais. Os tipos de solos variam desde Neossolos até os Latossolos.

### **5.1.3 Solos da Região Nordeste do Brasil**

As classes principais dos solos da Região Nordeste foram apresentadas na Figura 9. O solo como um fator zonal das paisagens, reflete, de maneira associada, as características

(presentes ou pretéritas) físicas e biológicas dos ecossistemas e biomas em que ocorrem. Entende-se que a existência de uma diversidade de classes de solos é resultado da interação entre os fatores da gênese pedológica como o clima, o relevo, a geologia e a cobertura vegetal. Como resposta a essas combinações paisagísticas, as classes de solos apresentam características físicas e químicas próprias. No Nordeste do Brasil, a diversidade geomorfológica e climática possibilita a existência de uma expressiva diversidade de solos (ARAÚJO FILHO, 2011; MARQUES et al, 2014; CORREA et al., 2014).

Entre as classes de solos com maiores representações percentuais de ocorrência na Região Nordeste, destacam-se os Latossolos (29,5%), Neossolos (24,0%), Argissolos (16,7%), Luvisolos (8,7%), Planossolos (7,3%), Plintossolos (6,3%) e Cambissolos (3,4%). As demais classes, juntas, somam 3,2% da frequência de distribuição regional (MARQUES et al., 2014).

Os Latossolos, classe com maior ocorrência regional, apresentam perfil bem desenvolvido, são profundos e apresentam horizontes A-Bw (latossólico)-C. As características físicas e químicas dos perfis tendem a apresentar certa homogeneidade. Podem apresentar coloração vermelha, vermelhas-amareladas, amarelas ou cinzentas. Frequentemente esse tipo de solo ocorre em áreas de relevo de gradientes suaves a suaves-ondulados. A fertilidade natural é baixa, com deficiência de bases catiônicas, porém possui boa capacidade de armazenamento de água. Suas propriedades físicas de profundidade e textura favorecem a mecanização e utilização agrícola, desde que haja um manejo adequado (MARQUES et al., 2014).

Observa-se que os Latossolos se distribuem por todos os biomas do NEB. No bioma Caatinga, a maior representação dessa classe de solos ocorre no oeste e sul (sudeste do estado do Piauí, oeste de Pernambuco, e centro sul da Bahia). Os Latossolos são frequentemente relacionados a climas úmidos, em que as taxas de decomposição química são suficientes para originar solos profundos, com perfis lixiviados. Porém, são verificadas ocorrências dessa classe de solos no bioma Caatinga, onde predominam climas semiáridos e embasamento geológico variado. A ocorrência desses perfis latossolizados no bioma Caatinga pode estar associada à exposição de vertentes mais úmidas, em chapadas elevadas ou maciços residuais, ou (quando ocorrem em clima semiárido severo) podem ter sua gênese explicada por morfogêneses em condições climáticas pretéritas (CORREA et al., 2014). No bioma da Mata Atlântica, os Latossolos aparecem em manchas (principalmente relacionados aos Tabuleiros Costeiros), entre áreas de ocorrência típica dos Argissolos. No bioma Cerrado há grande ocorrência dos latossolos, associados aos chapadões do oeste da Bahia, Piauí e Sul do Maranhão. No bioma Amazônia há ocorrência de solos latossolizados no centro oeste do Maranhão.

A segunda classe de solos mais abundantes na Região Nordeste é a dos Neossolos, os quais apresentam perfis pouco desenvolvidos e, frequentemente, rochosos (no caso da subclasse litólica), sem a presença do horizonte B. A sequência dos horizontes se apresenta de A-C, ou de A-R. O contato com a rocha matriz ocorre até os 50 cm de profundidade nas subclasses mais rasas e poder ser resultado da decomposição de tipos rochosos variados. As subclasses quatazarênicas e flúvicas podem apresentar perfis profundos. Os Neossolos podem se desenvolver em relevos acidentados a planos, em ambientes em que o escoamento superficial supera a infiltração hídrica. Como consequência do pequeno grau de intemperização química do perfil, as características químicas e físicas desses solos apresentam elevada similaridade com o material de origem. O grau de fertilidade desses solos é diverso, em consequência da composição química do material rochoso original. Quando derivados de rochas basálticas ou calcárias podem apresentar elevada fertilidade natural, porém, quando originário de arenitos, tendem a apresentar baixa fertilidade natural. Esses solos possuem limitações físicas para o uso agrícola, pois a pequena profundidade e baixa capacidade de armazenamento de água dificultam o desenvolvimento de grande parte das espécies vegetais (ARAÚJO FILHO, 2011; MARQUES et al., 2014).

Na Região Nordeste, os Neossolos predominam nos biomas do Cerrado e da Caatinga. As maiores deficiências hídricas desses ambientes e a ocorrência de escarpas íngremes são fatores que favorecem o desenvolvimento dessa classe de solos. Nos climas semiáridos, as áreas com arcabouço geológico de rochas cristalinas tendem a estar associadas aos Neossolos. Em áreas sedimentares, essa classe de solos ocorre preferencialmente em *fronts* de *cuestas*, a partir do desenvolvimento a subordem quartzarênica (CORREA et al., 2014).

Os Argissolos, terceira classe mais frequente na área de estudo, são caracterizados pelo acúmulo argila no horizonte B. Apresenta o horizonte Bt (textural) como diagnóstico de classe pedológica. Essa classe de solos apresenta perfis bem desenvolvidos, drenados com profundidade elevada. A coloração pode variar entre o vermelho e o amarelo, ou cinza. Como consequência do elevado desenvolvimento do perfil, apresenta horizontes do tipo A-E-Bt-C-R ou A-Bt-C-R. A capacidade de armazenamento hídrico dos Argissolos é elevada, e ocorrem associados, frequentemente, a relevos suave-ondulados. Esses solos apresentam algumas limitações quanto ao uso, pois apresentam baixa fertilidade natural e podem ser suscetíveis à erosão (como consequência da mudança textural abrupta na transição para o horizonte Bt) (ARAÚJO FILHO, 2011; MARQUES et al., 2014).

Os Argissolos, assim como a classe dos Latossolos, ocorrem preferencialmente em ambientes úmidos, onde há elevada taxa de decomposição química e formação de argilas. Na

Região Nordeste do Brasil, eles se distribuem amplamente sobre o bioma da Mata Atlântica, com pedogênese relacionada à decomposição das rochas cristalinas em climas úmidos ou subúmidos. No bioma Caatinga, a ocorrência de perfis de Argissolos está relacionada à maior exposição à umidade em estruturas planálticas e relevos residuais ou são perfis pedológicos reliquiais, formadas em condições climáticas distintas das atuais (CORREA et al., 2014). Nos biomas nordestinos do Cerrado e Amazônia os Argissolos ocorrem áreas fragmentadas.

Os Luvisolos apresentam expressiva distribuição regional. São solos de baixa profundidade, típico dos ambientes semiáridos do bioma Caatinga. Apresentam em sua composição argilas de alta atividade, com presença de horizonte Bt. Comumente os horizontes são estruturados em A-E-Bt-C-R ou A-Bt-C-R. A coloração é geralmente vermelha ou avermelhada. É uma classe de solos rica em bases catiônicas, podendo ter acidez variando entre níveis baixos ou neutros. Os Luvisolos apresentam restrições físicas e químicas para o uso, são suscetíveis à erosão, em razão da mudança textural dos horizontes, rochosos, e ficam bastante ressequidos nos períodos de estiagem e pegajosos quando úmidos (em virtude da presença de argilas expansivas). Se houver manejo de irrigação descontrolado, pode ocorrer salinização (ARAÚJO FILHO, 2011; MARQUES et al., 2014).

O Luvisolo é considerado uma classe de solo consonante com as condições climáticas semiáridas (CORREA et al. 2014) e ocorre principalmente no bioma Caatinga. As áreas mais representativas localizam-se no noroeste do estado do Ceará, no Cariri paraibano e centro do estado de Pernambuco (com prolongamento para o norte da Bahia). Nos demais biomas há pequenas manchas dessa classe de solo, com pouca representativa percentual.

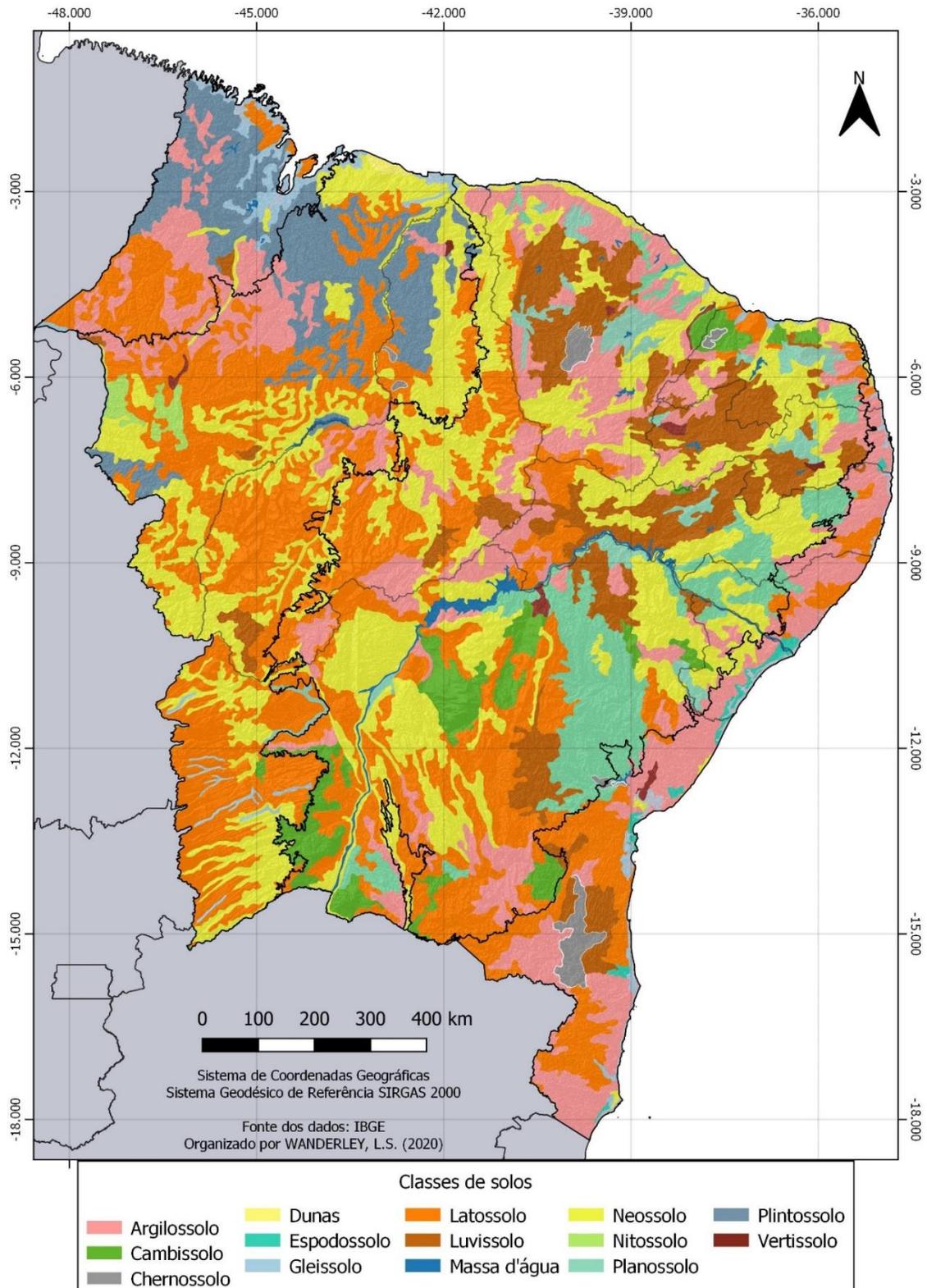
A classes dos Planossolos é caracterizada por apresentar acúmulo de argila de elevada atividade no horizonte B, denominado de B plânico. Apresentam uma transição textural abrupta, com estrutura colunar formada pelo acúmulo de argila. Esse tipo de solo é mal drenado, com baixa permeabilidade e apresenta coloração clara, acinzentada. É frequente nos relevos suave, plano e ondulado. Os horizontes possuem se apresentam na estrutura A-E-Bt-C-R ou A-E-2Bt-2C-2R. A classe dos Planossolos é restrita para o uso agrícola, em função da drenagem ineficiente, suscetibilidade erosiva e à salinização (ARAÚJO FILHO, 2011; MARQUES et al., 2014). Assim como os Luvisolos, os Planossolos apresentam compatibilidade pedogenética com o bioma Caatinga, com ocorrência mais representativa nas áreas semiáridas do NEB.

Os Plintossolos são caracterizados pela presença de um horizonte B plíntico (presença de plintita superior ou igual a 15%). Ocorre com frequência em áreas inferiores de encostas, bem como em limites de chapadas ou tabuleiros. A pedogênese dos Plintossolos é relacionada à alternância entre os ciclos secos e úmidos, em condições climáticas presentes ou pretéritas.

Podem apresentar mosqueamento ou não, a textura é variada e as argilas componentes são de baixa atividade. Os horizontes são estruturados em A-E-Btf-C-R, A-Bwf, Bif-C, A-Cf-C e A-F-C. Essa classe de solos apresenta, frequentemente, boa capacidade de armazenamento de água, baixa fertilidade natural e pode apresentar baixa permeabilidade se houver horizonte concrecionário (MARQUES et al., 2014). Esses solos ocorrem no norte do Piauí e Maranhão, entre os biomas Cerrado e Amazônia.

A classe dos Cambissolos apresenta perfis pouco desenvolvidos, podendo ser rasos ou profundos. As características físicas e químicas desses solos são bastante variadas, com relação com o material de origem. O material de origem não é bem definido, podendo ser produto da decomposição de rochas de tipos variados e sedimentos. Os Cambissolos podem apresentar, a depender da rocha de origem, boa disponibilidade de nutrientes e boa capacidade de armazenamento de água (ARAÚJO FILHO, 2011; MARQUES et al., 2014).

Figura 9 - Classes principais de solos (adaptada - retido apenas o primeiro nível de classificação) na Região Nordeste do Brasil.



Fonte dos dados: IBGE. Organizado pelo autor.

## 5.2 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA SINÓTICA PARA A REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

### 5.2.1 Grupos climáticos sazonais e estações centroides

Os grupos climáticos sazonais e suas respectivas estações centroides para a Região Nordeste do Brasil encontram-se apresentados na Figura 10. Para a primavera e outono foram identificados sete grupos climáticos, para o verão seis grupos e para o inverno cinco grupos. Observaram-se alguns grupos persistentes ao longo do ano e outros grupos que possuem ocorrência limitada a determinadas estações do ano. Os grupos mais persistentes foram: o da faixa leste litorânea (grupo 2 para todas as estações); o da porção centro-oriental (grupo 1 para todas as estações); o do litoral norte (grupo 4 para todas as estações); e o grupo localizado na área central da Região Nordeste (grupo 5 para todas as estações). Os grupos 3 (da primavera, verão e outono) e 6 (da primavera, verão e outono) estiveram restritos a três estações do ano. Os grupos 7 do setor noroeste (de primavera) e da faixa leste (de outono) da Região se formaram em apenas uma estação do ano.

Figura 10 - Grupos climáticos sazonais de primavera (A), verão (B), outono (C) e inverno (D), e respectivas estações centroides para a Região Nordeste do Brasil.

continua

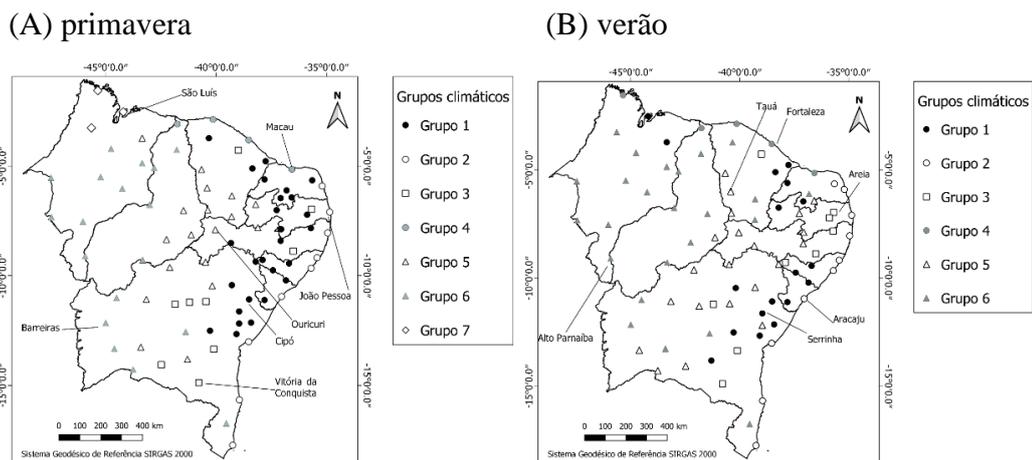
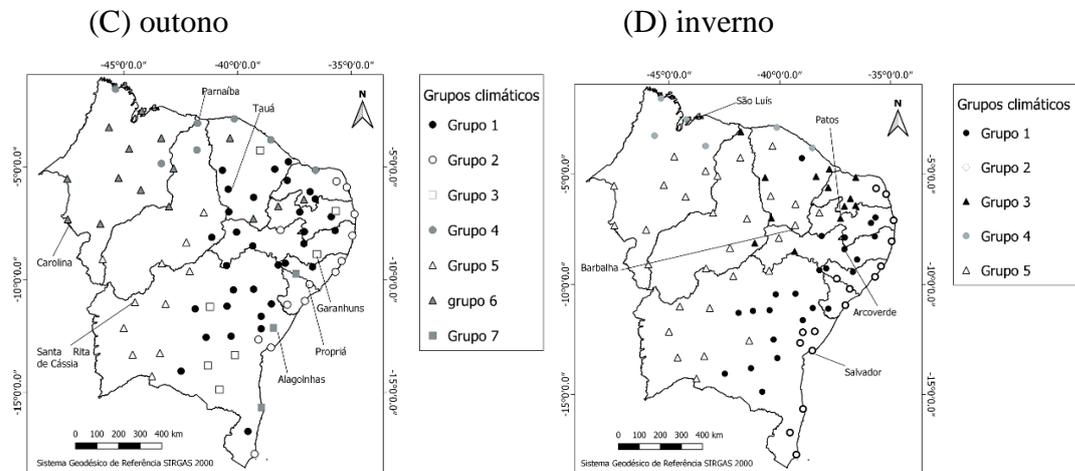


Figura 10 - Grupos climáticos sazonais de primavera (A), verão (B), outono (C) e inverno (D), e respectivas estações centroides para a Região Nordeste do Brasil.



Fonte dos dados: IBGE e INMET. Organizado pelo autor.

Na Tabela 2 foram apresentados os valores médios horários das variáveis meteorológicas sintéticas das condições climáticas em cada grupo sazonal. Foi possível constatar que há grupos climáticos com valores de suas variáveis atmosféricas distantes, e há outros com maior similaridade. De modo geral, observou-se uma predominância dos ventos de E-SE em todas as estações do ano para todos os grupos sazonais, o que permite associar os tipos de tempo predominantes à atuação de massas de ar de origem tropical (marcadas pela atuação dos ventos alísios), com distinções físicas relacionadas à interação com os fatores geográficos regionais.

Os principais elementos atmosféricos diferenciais entre os grupos foram a umidade relativa do ar, a variação da temperatura diária, a pressão atmosférica média ao nível do mar e a precipitação sazonal média. Constatou-se que, ao contrário do que habitualmente ocorre nas médias latitudes, onde os tipos de tempo são controlados em grande parte pela passagem de frentes, a pressão atmosférica média ao nível do mar tende a apresentar valores mais baixos em condições atmosféricas secas e estáveis sobre a Região Nordeste do Brasil. Esse fato possui explicação na diminuição da umidade atmosférica disponível à medida que massas de ar, com origem nos centros anticiclônicos oceânicos, penetram no interior do continente.

Nos grupos climáticos de primavera foram observados valores similares entre os grupos 1, 5 e 6, com temperaturas máximas superiores a 32°C, umidade relativa do ar mínima inferior a 50% e variação de temperatura diária superior a 6°C. Esse padrão médio dos dados atmosféricos de superfície sugere que esses grupos possuem maior frequência de tipos de tempo

secos e estáveis durante a primavera. Todavia, para o grupo 6 foram observados maiores valores médios sazonais de precipitação (alcançando 333 mm), indicando a ocorrência de eventos significativos de chuva mesmo com a predominância de dias secos. Distinções entre esses grupos foram observadas quanto aos valores de pressão atmosférica e velocidade do vento. Nos grupos 1 e 5 a velocidade do vento média é de aproximadamente 4m/s, enquanto que no grupo 6 esse valor é de 1,7 m/s. Os valores de pressão atmosférica sugerem que isóbaras de valores superiores a 1010 hPa atuam com frequência sobre os grupos 1 e 5, e isóbaras inferiores a esse valor atuam nas áreas que compreendem o grupo 6. Os grupos 2, 3, 4 e 7 apresentaram comportamento similar quanto à umidade relativa do ar às 18h, no entanto, há distinções quanto à umidade relativa do ar às 0h, à variação diária de temperatura máxima e aos campos isobáricos. As características atmosféricas apontam que esses quatro grupos climáticos são caracterizados pela atuação de tipos de tempo úmidos e possivelmente estáveis durante a primavera. Para o grupo 4, as condições atmosféricas foram mais estáveis, com precipitação média de 31,0 mm na primavera.

Durante o verão, os valores dos dados atmosféricos de superfície demonstraram que os tipos de tempo mais secos da estação estiveram associados ao grupo 5. Para esse grupo climático foram observados os valores médios mais destoantes de temperatura e umidade relativa. Porém, os menores valores de precipitação da estação não foram respectivos a este grupo. Os grupos climáticos 1, 3 e 6 apresentaram similaridade quanto às variáveis térmicas e higrométricas. Os valores de umidade relativa média ocorrem entre 70-80% às 0h entre 45-55% às 18h. Entre essas regiões climáticas, o grupo 3 apresenta valores de temperatura mais amenos, apesar de valor similar da variação de temperatura com relação aos grupos 1 e 6. A faixa de variação mais baixa das temperaturas para o grupo 3 pode ser explicada pela maior altitude dessas estações. Os grupos 2 e 4 apresentaram semelhanças quanto aos seus tipos de tempo mais frequentes no verão em virtude da localização ao longo de áreas litorâneas, influenciadas pela umidade trazida pelos alísios e pela influência do mecanismo das brisas. Quanto ao volume médio sazonal de chuvas, destacaram-se os grupos 4 e 6 com valores de 606,7 mm e 583,4 mm, respectivamente. Os demais grupos apresentaram precipitação de verão entre 250 mm e 350 mm.

No outono foi constatada predominância de tipos de tempo instáveis e úmidos sobre a Região Nordeste. O grupo 5, que abrange o oeste do estado da Bahia, sul do Maranhão e sul/sudeste do Piauí, permaneceu, como no verão, destoante das demais regiões quanto às características termo-higrométricas, e apresentou o menor valor médio de precipitação. Foram observados os mais baixos valores de umidade relativa e menor valor de nebulosidade, o que

permite supor a predominância de tipos de tempo relacionados a massas de ar secas continentais. Distingões entre os grupos também podem ser notadas quando à velocidade média do vento, que tende a ser mais baixa durante o outono nos grupos 5, 6 e 7. Destaca-se que no grupo 6 a baixa velocidade dos ventos está associada a elevados valores de umidade e precipitação durante a estação, possivelmente em virtude de posições austrais da ZCIT. Os mais altos valores médios de pressão atmosférica, provavelmente relacionados à atuação constante da mTA, foram observados nos grupos 2 e 7, ambos localizados nas proximidades do litoral oriental da Região. Para esses grupos do NE oriental foram observados elevados valores médios de precipitação no outono.

A estação de inverno, que apresentou o menor número de grupos climáticos, possui fortes dissimilaridades entre características atmosféricas das estações meteorológicas submetidas a condições estáveis e aquelas submetidas a condições instáveis. Os grupos 1, 2 e 4 apresentam, em média, condições sinóticas úmidas e os maiores valores de precipitação durante o inverno, enquanto que os grupos 3 e 5 apresentam predominância de condições secas e estáveis. Portanto, a estação de inverno possivelmente é marcada por influência de sistemas sinóticos com características distintas entre o leste e o centro-oeste do Nordeste.

Tabela 2 - Grupos climáticos sazonais (1980-2017) para a Região Nordeste do Brasil e as médias sazonais de temperatura do ar (mínima e máxima), umidade relativa do ar (máxima e mínima), cobertura de nuvens, velocidade do vento, direção do vento, velocidade do vento e precipitação.

continua

---

#### GRUPOS CLIMÁTICOS SAZONAIS

---

##### PRIMAVERA

Variáveis	1	2	3	4	5	6	7
T. 0h (°C)	32,1	27,9	27,5	30,5	33,2	32,8	31,8
T. 18h (°C)	25,2	25,3	21,6	26,6	26,9	26,8	26,5
U.R. 0h (%)	74,6	82,7	78,5	78,4	60,3	70,2	81,3
U.R. 18h (%)	45,1	71,9	53,8	61,4	37,7	48,3	59,4
Var. da temperatura (°C)	6,9	2,8	6,1	3,9	6,4	6,3	5,4
Cobertura de nuvens	4,8	5,6	6,2	3,4	4,1	5,7	4,8
Vel. do vento (m/s)	3,7	3,4	3,5	5,1	2,8	1,7	3,3
Direção do vento	E-SE	E-SE	E-SE	E	E-SE	SE	E-SE
Precipitação (mm)	83,1	207,7	210,1	31,0	149,7	333,0	118,1
Pressão atm. (hPa)	1011,9	1013,5	1011,9	1012,5	1010,6	1008,6	1009,9

Tabela 2 - Grupos climáticos sazonais (1980-2017) para a Região Nordeste do Brasil e as médias sazonais de temperatura do ar (mínima e máxima), umidade relativa do ar (máxima e mínima), cobertura de nuvens, velocidade do vento, direção do vento, velocidade do vento e precipitação.

							conclusão
<b>GRUPOS CLIMÁTICOS SAZONAIS</b>							
<b>VERÃO</b>							
Variáveis	1	2	3	4	5	-	-
T. 18h (°C)	31,9	29,1	27,7	29,6	31,2	30,7	
T. 0h (°C)	25,9	26,3	22,0	26,5	25,8	25,7	
U.R. 0h (%)	78,6	82,9	85,2	85,1	70,5	81,9	
U.R. 18h (%)	51,8	70,3	58,8	71,3	49,5	59,8	
Var. da temperatura (°C)	5,9	2,9	5,6	3,1	5,6	5,1	
Cobertura de nuvens	5,9	5,7	6,4	6,3	5,9	6,5	
Vel. do vento (m/s)	2,7	3,0	3,3	3,6	2,9	1,5	
Direção do vento	E-SE	E-SE	E-SE	E	E-SE	SE	
Precipitação (mm)	333,8	342,7	277,0	606,7	314,6	583,4	
Pressão atm. (hPa)	1011,3	1012,2	1011,3	1011,8	1010,1	1010,3	
<b>OUTONO</b>							
Variáveis	1	2	3	4	5	6	7
T. 18h (°C)	29,3	27,8	25,1	29,6	31,2	30,9	29,0
T. 0h (°C)	24,3	24,7	20,6	25,7	24,9	25,6	24,8
U.R. 0h (%)	79,9	86,1	88,7	88,3	72,8	86,3	86,5
U.R. 18h (%)	57,0	72,7	67,9	70,7	47,8	62,2	67,2
Var. da temperatura (°C)	5,2	3,1	4,5	3,9	6,3	5,3	4,2
Cobertura de nuvens	6,0	5,8	6,8	5,9	4,3	5,7	6,5
Vel. do vento (m/s)	2,9	2,6	2,5	2,5	1,7	1,4	1,6
Direção do vento	E-SE	E-SE	E-SE	E-SE	SE	E-SE	E
Precipitação (mm)	226,7	658,2	308,7	570,9	103,2	401,1	380,9
Pressão atm. (hPa)	1012,7	1014,0	1013,5	1011,9	1011,2	1009,2	1013,9
<b>INVERNO</b>							
Variáveis	1	2	3	4	5	-	-
T. 18h (°C)	25,6	26,3	31,8	30,7	32,6		
T. 0h (°C)	20,4	22,9	25,8	25,8	25,7		
U.R. 0h (%)	83,0	87,0	66,4	84,1	62,0		
U.R. 18h (%)	80,6	71,8	42,9	60,5	38,2		
Var. da temperatura (°C)	5,4	3,4	6,2	4,9	7,2		
Cobertura de nuvens	6,0	6,0	3,7	3,8	3,2		
Vel. do vento (m/s)	3,3	2,7	4,2	3,0	2,2		
Direção do vento	E-SE	E-SE	E-SE	E	E-SE		
Precipitação (mm)	151,5	354,4	26,8	110,6	26,6		
Pressão atm. (hPa)	1016,6	1017,0	1014,1	1012,2	1012,9		

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor

## 5.2.2 Caracterização dos sistemas sinóticos e tipos de tempo identificados para as estações centroides

Os tipos de tempo foram classificados de acordo com as características meteorológicas de superfície, sendo identificados 8 tipos de tempo sinóticos a partir da análise sazonal das estações centroides.

No verão e outono, os tipos de tempo caracterizados pela fraca instabilidade tiveram a maior frequência média nas estações centroides. Como mecanismo predominante no verão, observou-se uma circulação atmosférica alternada entre a expansão das massas úmidas continentais e os tipos de tempo secos associados à atuação da mTAC.

No outono, o tipo de tempo com frequência predominante nas estações centroides esteve relacionado à atuação dos ventos úmidos de leste e sudeste e à fraca instabilidade sobre a maior parte da região. Todavia, nessa estação do ano também foram observadas as maiores frequências de atuação dos sistemas sinóticos com forte ou moderada instabilidade, principalmente no centro norte da região.

O inverno austral foi caracterizado por uma maior frequência de tipos de tempo úmidos e estáveis, seguidos pelos tipos de tempo úmidos com fraca e moderada instabilidade sobre o leste do NEB. No centro da região foram observados tipos de tempo estáveis e secos.

Na primavera, massas de ar secas predominaram na caracterização dos tipos de tempo identificados para as estações centroides. Condições instáveis foram registradas no sul e oeste do NEB.

### 5.2.2.1 Massa Tropical Atlântica (mTA)

A atuação da mTA foi descrita em duas variantes, a mTA e mTA1. Como critério de diferenciação foi adotada a umidade relativa do ar; dias típicos para a mTA com valor umidade relativa mínimo igual ou superior a 60% foram relacionados à atuação da mTA1, e dias típicos com umidade mínima (média menos o desvio padrão) igual ou superior a 50% foram associados com a atuação da mTA. Ademais, essas camadas da massa atlântica foram distinguidas quanto ao intervalo de precipitação diária (determinado pela média  $\pm$  desvio padrão). Para a mTA, os intervalos das chuvas diárias variaram frequentemente entre 0 e 5 mm).

A mTA esteve mais atuante durante no outono e inverno na climatologia regional, a partir do avanço do ASAS sobre o continente. No presente estudo, associou-se sua atuação às condições meteorológicas quentes, úmidas e predominantemente estáveis ou com fraca

instabilidade. As características atmosféricas relacionadas a essa massa de ar foram relacionadas à atuação dos ventos alísios de leste, sudeste e sul (provenientes do Anticiclone semifixo do Atlântico Sul), tempo nublado à parcialmente nublado. No litoral setentrional do NEB foi observada a atuação desta massa de ar com ventos de leste-nordeste (ENE). Os valores de temperatura possuem pouca variação diária ao longo do litoral e maiores variações no interior continental. Sob a influência dessa massa de ar foram observadas condições atmosféricas de advecção de ar úmido com presença nebulosidade estratiforme (nuvens quentes).

A tabela 3 apresenta os intervalos das variáveis meteorológicas, características dos dias típicos, para as estações centroides. Considerando que as massas de ar sofrem variações de seus parâmetros em superfície, decorrentes dos fatores geográficos e dos padrões sinóticos sazonais, foram comparados os limites estabelecidos para os dias típicos das estações centroides nas quatro estações do ano. Foi observada uma variação dos intervalos dos dados em superfície relativos à mTA especialmente para os valores de pressão atmosférica, como consequência das variações sazonais do posicionamento do ASAS, e da distância das estações em relação ao centro do anticiclone.

Os valores médios de temperatura associados a essa massa de ar estiveram, predominantemente, contidos entre 25 e 32 ° C, com pequena variação sazonal. Intervalos de temperatura mais baixos foram observados a partir dos 600 m de altitude, nas estações meteorológicas de Arcoverde – PE (localizada a 680 m de altitude) e Vitória da Conquista – BA (localizada a 874 m de altitude). Nessas estações em terras altas o intervalo de variação térmica esteve entre 23 e 27 °C.

Os intervalos de umidade relativa média, relacionados à mTA, estiveram frequentemente entre os valores de 50 e 80%. A sazonalidade não demarcou padrões de variação de umidade do ar em superfície, nem foram observadas variações relacionadas à altitude das estações.

O intervalo dos valores de pressão atmosférica ao nível do mar, esteve compreendido mais frequentemente entre os valores de 1010 e 1013 hPa. Os menores valores médios de pressão atmosférica foram verificados durante primavera e outono, nas estações localizadas fora do alcance do prolongamento das isóbaras mais intensas do ASAS.

Os ventos alísios caracterizam as áreas de influência dessa massa de ar, com origem predominante do quadrante leste, com variação entre as direções nordeste e, mais frequentemente, sudeste. Destaca-se que os ventos de nordeste observados em São Luís do Maranhão – MA e Macau – RN, durante a primavera, possuem origem no ASAS, não

configurando uma massa de ar de origem equatorial. A nebulosidade no domínio da mTA é variável, com ocorrência de tempo nublado a parcialmente nublado.

Tabela 3 - Intervalo das variáveis meteorológicas em superfície às 18 h UTC características dos dias típicos da mTA para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.

ESTAÇÃO	Alt.(m)	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	DV	VV (m/s)	Neb.	P (mm)
<b>VERÃO</b>								
Areia (PB)	574,6	25 - 29	53 - 79	1009- 1011	E	1 - 5	6 - 8	0 - 1,5
Serrinha (BA)	359	25 - 30	57 - 85	1009 - 1011	E-SE	1 - 3	9 - 10	0 - 1,9
<b>OUTONO</b>								
Paranaíba (PI)	79	30 - 32	56 - 66	1010- 1013	ESE	1 - 4	1 - 6	0 - 2,8
Tauá (CE)	398	28 - 31	52 - 72	1007- 1008	SSE	1 - 3	5 - 7	0 - 4,0
Propriá (SE)	19	29 - 31	55 - 69	1008 - 1010	E-SE	2 - 5	2 - 6	0 - 4,8
Alagoinhas (BA)	130	27 - 30	52 - 68	1010 - 1013	SSE	2 - 4	4 - 8	0 - 5,3
Carolina (MA)	192	29 - 33	53 - 72	1006 - 1009	ESE	1 - 3	4 - 8	0 - 5,0
<b>INVERNO</b>								
São Luís (MA)	50	30 - 32	55 - 68	1010 - 1012	ESE	1 - 2	3 - 7	0 - 3,3
Barbalha (CE)	409	29 - 32	50 - 67	1010 - 1012	SE	2 - 4	2 - 7	0 - 1,3
Arcoverde (PE)	680	24 - 27	52 - 76	1012 - 1014	ESE	2 - 4	3 - 7	0 - 1,9
<b>PRIMAVERA</b>								
São Luís (MA)	50	31 - 32	57 - 64	1010 - 1012	ENE	2 - 4	2 - 7	0 - 0
Macau (RN)	32	30 - 32	54 - 67	1012 - 1015	ENE	5 - 7	3 - 5	0 - 0,2
Cipó (BA)	145	25 - 29	54 - 83	1010 - 1012	SSE	2 - 5	7 - 10	0 - 3,6
Vitória da Conquista (BA)	874	23 - 27	50 - 75	1010 - 1012	ESE	3 - 5	7 - 9	0 - 1,5

Legenda: ALT.=altitude, T=temperatura, P=pressão atmosférica, DV=direção do vento, VV=velocidade do vento e Neb.=nebulosidade.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

### 5.2.2.2 Massa Tropical Atlântica com presença de instabilidade atmosférica (mTA1)

No presente estudo, a atuação da mTA foi diferenciada de sua variante associada a condições de instabilidade advectiva e maior valor de umidade relativa do ar. A mTA1 apresenta fraca, moderada ou forte instabilidade, com tempo úmido, ventos de leste, sudeste ou sul, cobertura de nuvens quentes (estratiformes) e maior possibilidade de ocorrência de precipitação. Para a mTA1 foi estabelecido o limite mínimo igual ou superior a 60% para a umidade relativa do ar às 18h UTC, para um dia típico de atuação dessa massa de ar.

As características associadas à mTA1 foram apresentadas na Tabela 4, a qual contém os valores das variáveis atmosféricas em superfície registrados para as estações centroides. Essa variante da massa Tropical Atlântica apresentou comportamento sazonal variável de acordo com os fatores geográficos dos sítios onde localizam-se as estações meteorológicas, além de apresentar mudanças relativas à variação do posicionamento e da intensidade do ASAS. Destaca-se que a instabilidade dessa massa de ar esteve relacionada às POAs, modulando a convecção em núcleos convectivos (nas áreas de formações dos cavados), ou à atuação das brisas (MOLION E BERNARDO, 2002).

A mTA1 apresentou intervalos de temperatura inferiores àqueles registrados para a mTA. Especialmente nas estações localizadas acima dos 300 m de altitude, foram observados limites térmicos às 18h UTC entre 20 e 25 ° C. Todavia, a faixa predominante de variação de temperatura para a mTA1 esteve preferencialmente entre 25 e 30°C. Os valores de umidade relativa do ar estiveram mais elevados durante as janelas sazonais do outono e do inverno, quando a expansão do ASAS favoreceu o transporte de umidade para a faixa leste do Nordeste brasileiro.

A direção dos ventos foi predominante de E-SE, sendo registrados ventos de ENE, relacionados à mTA1, durante a primavera no litoral setentrional da região. A elevada cobertura de nuvens também foi associada a atuação dessa massa de ar. Condições de tempo parcialmente nublado foram observados apenas nas estações de Macau-RN e Fortaleza-CE.

Os tipos de tempo relacionados à atuação da mTA1 apresentaram intervalos de precipitação variados sazonalmente. Os maiores valores foram verificados para as estações de outono e inverno, com concentração na faixa costeira do NEB. A instabilidade fraca, moderada ou forte foi uma característica relacionado com essa massa de ar.

Tabela 4 - Intervalo das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC características dos dias típicos da mTA1 para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.

ESTAÇÃO	Alt.(m)	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	DV	VV m/s)	Neb.	P mm)
<b>VERÃO</b>								
Areia (PB)	574,6	22 - 25	77 - 94	1009 - 1012	SE	1 - 3	8 - 10	0 - 7,0
Serrinha (BA)	359	21 - 25	64 - 93	1016 - 1018	SE	1 - 3	8 - 10	0 - 17,0
Fortaleza (CE)	26	29 - 31	61 - 72	1009 - 1011	E	3 - 5	6 - 10	0 - 17,5
Aracaju (SE)	4	26 - 28	75 - 88	1009 - 1012	ESE	1 - 4	6 - 10	0 - 12,0
<b>OUTONO</b>								
Paranaíba (PI)	79	24 - 27	84 - 95	1011 - 1014	ESE	1 - 3	8 - 10	2,1-23,6
Propriá (SE)	19	25 - 28	67 - 89	1008 - 1010	SE	2 - 4	7 - 10	0,8-39,2
Alagoinhas (BA)	130	25 - 30	60 - 84	1012 - 1015	SSE	2 - 3	5 - 9	0,7-14,3
<b>INVERNO</b>								
São Luís (MA)	50	24 - 26	85 - 96	1009 - 1012	ESE	1 - 2	7 - 10	3,1 - 33,3
Salvador (BA)	51	22 - 24	83 - 94	1015 - 1019	SSE	1 - 3	6 - 10	1,1 - 22,7
Arcoverde (PE)	680	20 - 23	78 - 96	1013 - 1016	SSE	2 - 5	7 - 10	1,9 - 18,2
<b>PRIMAVERA</b>								
São Luís (MA)	50	30 - 32	60 - 74	1007 - 1010	ENE	3 - 4	2 - 6	0 - 1,1
Macau (RN)	32	28 - 30	62 - 75	1011 - 1013	ENE	7 - 10	3 - 6	0 - 2,7
João Pessoa (PB)	7	27 - 28	65 - 74	1009 - 1012	SE	4 - 6	5 - 8	0,5 - 37,4

Legenda: ALT.=altitude, T=temperatura, P=pressão atmosférica, DV=direção do vento, VV=velocidade do vento e Neb.=nebulosidade.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

### 5.2.2.3 Tipos de Tempo Transitórios (T)

As características sinóticas relativas a esses tipos de tempo foram variáveis. Foram observados tempos transitórios entre as variantes da massa Tropical Atlântica e sistemas sinóticos com maior instabilidade, como a mEC, ZCIT e ZCAS. Para as janelas sazonais investigadas, esses tipos de tempo não estiveram enquadrados nos intervalos que caracterizaram os dias típicos de atuação das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados.

### 5.2.2.4 Massa Tropical Atlântica Continentalizada (mTAC)

A mTAC foi caracterizada como uma massa de ar seca e estável, diferenciando-se da mTA pelos baixos valores de umidade relativa registrados, mais frequentemente às 18h-UTC ( $UR < 50\%$ ), e ausência de precipitação. Os ventos alísios de sudeste e leste foram relacionados à predominância de tempo seco e estável, com baixa nebulosidade noturna e tempo ensolarado ou parcialmente nublado à tarde. Sobre o interior da região, as isóbaras associadas a essa massa de ar apresentaram valores inferiores aqueles observados em sua variante úmida, de atuação mais frente ao longo das áreas litorâneas. A mTAC apresentou máxima atuação nas janelas sazonais do inverno e da primavera, quando ocorreu de maneira mais abrangente sobre o interior da região, apresentando frequência superior a 60% em algumas estações meteorológicas.

O comportamento sazonal das variáveis meteorológicas associadas à mTAC, apresentados na Tabela 5, não apresentaram variações significativas às 18 h UTC. Os intervalos de temperatura estiveram frequentemente entre 30 e 35°C, com valores máximos registrados na primavera e verão. Os valores de umidade relativa característicos dessa massa de ar predominaram entre 30 e 50%, apresentando condições atmosféricas quentes e secas. Os intervalos médios de pressão atmosférica foram mais baixos do que aqueles registrados nos episódios de atuação da mTA e mTA1. As estações meteorológicas que registram as maiores frequências de atuação da mTAC são aquelas localizadas no interior da região, onde as isóbaras apresentam menores valores médios. A nebulosidade associada à atuação dessa massa de ar é variável, com predomínio de tempo nublado e parcialmente nublado.

Tabela 5 - Intervalos das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC característicos dos dias típicos da mTAC para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.

								continua
ESTAÇÃO	Alt.(m)	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	DV	VV m/s)	Neb.	P mm)
<b>VERÃO</b>								
Serrinha (BA)	359	30 - 34	28 - 48	1008 - 1010	ESE	1 - 4	7 - 9	0
<b>OUTONO</b>								
Tauá (CE)	398	30 - 34	34 - 49	1006 - 1007	SSE	1 - 5	6 - 9	0

Tabela 5 - Intervalos das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC característicos dos dias típicos da mTAC para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.

ESTAÇÃO	Alt.(m)	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	DV	VV m/s)	Neb.	conclusão
								P mm)
<b>OUTONO</b>								
Propriá (SE)	19	29 - 31	42 - 52	1010 - 1012	ESE	2 - 4	2 - 6	0
Santa Rita de Cássia (BA)	450	30 - 33	32 - 45	1009 - 1012	ESE	2 - 4	2 - 5	0
<b>INVERNO</b>								
Patos (PB)	249	31 - 33	27 - 37	1009 - 1011	SSE	3 - 6	3 - 7	0
Barbalha (CE)	409	29 - 32	28 - 44	1009 - 1012	SSE	3 - 4	0 - 5	0
<b>PRIMAVERA</b>								
Ouricuri (PE)	459	32 - 34	26 - 36	1007 - 1009	SE	2 - 4	2 - 5	0
Barreiras (BA)	7	32 - 37	17 - 40	1003 - 1006	ESE	1 - 3	4 - 8	0
Cipó (BA)	145	32 - 35	27 - 35	1007 - 1010	SSE	2 - 4	2 - 6	0

Legenda: ALT.=altitude, T=temperatura, P=pressão atmosférica, DV=direção do vento, VV=velocidade do vento e Neb.=nebulosidade.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

#### 5.2.2.5 Massa Tropical Continental (mTC)

A mTC esteve relacionada a ocorrência de tempo seco, quente, estável, baixa nebulosidade e ventos de oeste. A ocorrência desse tipo de tempo foi observada preferencialmente durante o inverno, nas estações meteorológicas influenciadas pelo regime de monções da América do Sul.

Para as estações centroides dos grupos sazonais, a ocorrência dessa massa de ar esteve restrita à estação de Santa Rita de Cássia-BA, durante janela sazonal do outono (Tabela 6). O tipo de tempo esteve caracterizado por elevadas temperaturas máximas (31 a 34 °C) e baixa umidade relativa do ar (32 a 48%). Distingue-se do tipo de tempo produzido pela mTAC, quando comparados os dados meteorológicos em superfície, pela direção predominante dos ventos (do quadrante oeste) e pelos menores valores médios de velocidade do vento e pelos menores valores de pressão atmosférica.

Tabela 6 - Intervalos das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC características dos dias típicos da mTC para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais

ESTAÇÃO	Alt.(m)	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	DV	VV m/s)	Neb.	P (mm)
<b>OUTONO</b>								
Santa Rita de Cássia (BA)	450	31 - 34	32 - 48	1008 - 1010	SO	1 - 2	4 - 7	0

Legenda: ALT.=altitude, T=temperatura, P=pressão atmosférica, DV=direção do vento, VV=velocidade do vento e Neb.=nebulosidade.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelos autores.

#### 5.2.2.6 Massa Equatorial Continental (mEC)

A mEC foi caracterizada pela expansão da instabilidade atmosférica convectiva proveniente da bacia amazônica. Esse tipo de tempo foi registrado durante o verão, influenciando as características sinóticas nas localidades das estações meteorológicas no noroeste da região. Nas áreas do interior do Maranhão, norte do Piauí e oeste da Bahia esse tipo de tempo apresentou uma alta frequência durante o verão. Foram observadas condições atmosféricas de superfície associadas a calmarias, ventos fracos de leste ou de noroeste ou sudoeste à tarde, instabilidade atmosférica moderada ou forte, elevada umidade relativa e elevadas temperaturas máximas. Ressalta-se que a instabilidade produzida pela mEC está relacionada à convecção decorrente do acoplamento entre o fluxo calor e umidade, em superfície, e à divergência em altos níveis da atmosfera. Diferencia-se das configurações sinóticas da ZCAS/ZCOU, pois a convecção da mEC ocorre em núcleos de *cumulonimbus* não orientados em bandas de nebulosidade formadas por grandes fluxos convergentes. A instabilidade da mEC ocorre de em um padrão disforme, e não orientado em zonas de convergência em escala regional.

Na Tabela 7 foram apresentados os intervalos de dados referentes aos dias típicos para essa massa de ar nas estações centroides. Durante o verão, foi registrada a ocorrência de tipo de tempo corresponde a mEC na estação meteorológica de Alto Parnaíba-MA. Nesta localidade, foi observada uma variação de temperaturas no horário das 18h UTC entre 23 e 28° C, condições de elevada umidade relativa do ar (74 a 93%), ventos fracos de sudoeste, ou até calmarias, e elevada nebulosidade. No outono, a estação de Carolina-MA apresentou uma frequência de 0,191 para a mEC, intervalo de temperatura entre 28 e 33°C, elevados valores de

umidade relativa do ar (60 a 79%), calmarias ou ventos fracos de sudoeste e tempo predominantemente nublado.

Tabela 7 - Intervalos das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC características dos dias típicos da mEC para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.

ESTAÇÃO	Alt.(m)	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	DV	VV m/s)	Neb.	P (mm)
<b>VERÃO</b>								
Alto Parnaíba (MA)	285	23 - 28	74 - 93	1008 - 1010	SSO	0 - 2	7 - 10	0,2 - 32,6
<b>OUTONO</b>								
Carolina (MA)	192	28 - 33	60 - 79	1009 - 1011	SSO	0 - 1	6 - 9	0,7 - 10,3

Legenda: ALT.=altitude, T=temperatura, P=pressão atmosférica, DV=direção do vento, VV=velocidade do vento e Neb.=nebulosidade.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelos autores.

#### 5.2.2.7 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A atuação da ZCIT foi predominante nos meses de verão e outono, produzindo um tipo de tempo fortemente instável com desenvolvimento de nebulosidade convectiva. A frequência de atuação desse sistema sinótico no outono apresentou variação média entre 15 e 20% para a maior parte das estações centroides. Durante o verão, as estações centroides do litoral setentrional e aquelas localizadas no centro-norte da Região Nordeste apresentaram frequência de atuação da ZCIT similar à observada no outono. As condições atmosféricas relacionadas a esse tipo de tempo foram descritas por temperaturas máximas elevadas, elevada umidade relativa do ar, ventos fracos predominantes do quadrante e leste, porém variando entre sudeste e nordeste e elevada nebulosidade convectiva.

Nas estações centroides, apresentadas na Tabela 8, houve maior ocorrência de tipos de tempo relacionados a ZCIT durante o outono. A maior influência desse sistema atmosférico nesta estação se justifica pelo seu posicionamento climatológico mais austral durante esse período (HASTENRATH, 1991; MOLION e BERNARDO, 2002). No verão, esse sistema sinótico foi registrado nas estações centroides de Fortaleza-CE e Tauá-CE, apresentando características similares quanto aos tipos de tempo nessas duas estações meteorológicas. Na Tabela 8, observou-se que os dados de superfície às 18h UTC caracterizam um tipo de tempo quente (com intervalo de temperatura frequente entre 25 e 30° C) e úmido (intervalo de umidade

frequente entre 60 e 85%), com ventos fracos de norte e nordeste, elevada nebulosidade e precipitação. No outono os intervalos das variáveis atmosféricas são similares àqueles observadas na estação anterior, com ventos oriundos de norte ou noroeste.

Tabela 8 - Intervalos das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC características dos dias típicos da ZCIT para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.

ESTAÇÃO	Alt.(m)	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	DV	VV (m/s)	Neb.	P (mm)
<b>VERÃO</b>								
Fortaleza (CE)	26	25 - 29	73 - 90	1008 - 1011	ENE	1 - 2	8 - 10	1,0-41,7
Tauá (CE)	398	26 - 31	50 - 79	1006 - 1007	NNE	1 - 4	6 - 9	2,0-29,3
<b>OUTONO</b>								
Tauá (CE)	398	26 - 30	58 - 81	1009 - 1010	ENE	1 - 3	6 - 9	0,6 - 18,1
Parnaíba (PI)	79	27 - 30	70 - 86	1011 - 1013	NNO	2 - 4	6 - 10	1,1-36,8
Propriá (SE)	19	26 - 30	60 - 88	1010 - 1013	NNO	1 - 4	4 - 9	0,8-15,8
Carolina (MA)	192	26 - 32	59 - 83	1008 - 1010	NNO	1 - 3	6 - 10	4,6-33,3
Santa Rita de Cássia (BA)	450	24 - 28	65 - 88	1008 - 1013	NNO	1 - 4	8 - 10	5,5-31,2

Legenda: ALT.=altitude, T=temperatura, P=pressão atmosférica, DV=direção do vento, VV=velocidade do vento e Neb.=nebulosidade.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

#### 5.2.2.8 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de Umidade (ZCOU)

A atuação da ZCAS e ZCOU consistem no principal mecanismo produtor de chuvas da monção sul americana (GAN et al., 2009). No NEB esses sistemas sinóticos tiveram maior frequência de atuação na estação na primavera, produzindo tempo quente, úmido e instável. A nebulosidade convectiva relacionada à ZCAS ou à ZCOU foi observada principalmente sobre o interior da região com orientação de noroeste para sudeste. As condições atmosféricas em superfície associadas à atuação das zonas de convergência de umidade estiveram caracterizadas por ventos fracos, variando entre os quadrantes leste e noroeste à tarde, temperatura máxima elevada e precipitações diárias habitualmente entre 6 e 30 mm.

Nas estações centroides de primavera de Vitória de Conquista-BA e Barreiras-BA, apresentadas na Tabela 9, houve ocorrência da ZCAS e ZCOU. Foram observados valores referentes aos dias típicos que corroboraram a ocorrência de tipo de tempo úmido às 18h UTC (com intervalo de umidade entre 54 e 93%), ventos fracos de leste e sudeste e elevada nebulosidade. Na estação de Vitória da Conquista o intervalo de temperatura apresentou valores inferiores (18 a 21°C) em decorrência da interação entre os condicionantes atmosféricos e a altitude local (874 m).

Tabela 9 - Intervalos das variáveis meteorológicas em superfície às 18h UTC característicos dos dias típicos da ZCAS/ZCOU para as estações meteorológicas centroides dos grupos sazonais.

ESTAÇÃO	Alt.(m)	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	DV	VV (m/s)	Neb.	P (mm)
<b>PRIMAVERA</b>								
Vitória da Conquista (BA)	874	18 - 21	77 - 93	1010 - 1013	SSE	2 - 3	9 - 10	3,1-30,4
Barreiras (BA)	439	24 - 30	54 - 85	1005 - 1007	E	0 - 2	8 - 10	10,3-46,0

Legenda: ALT.=altitude, T=temperatura, P=pressão atmosférica, DV=direção do vento, VV=velocidade do vento e Neb.=nebulosidade.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

### 5.2.3 Padrões sinóticos sazonais

Foram investigados padrões sinóticos sazonais em dias típicos das estações centroides a partir da análise das cartas de superfície das 18h UTC. O posicionamento dos principais centros de ação apresentou variação sazonal, caracterizando tipos de tempo variados ao longo dos dias estudados.

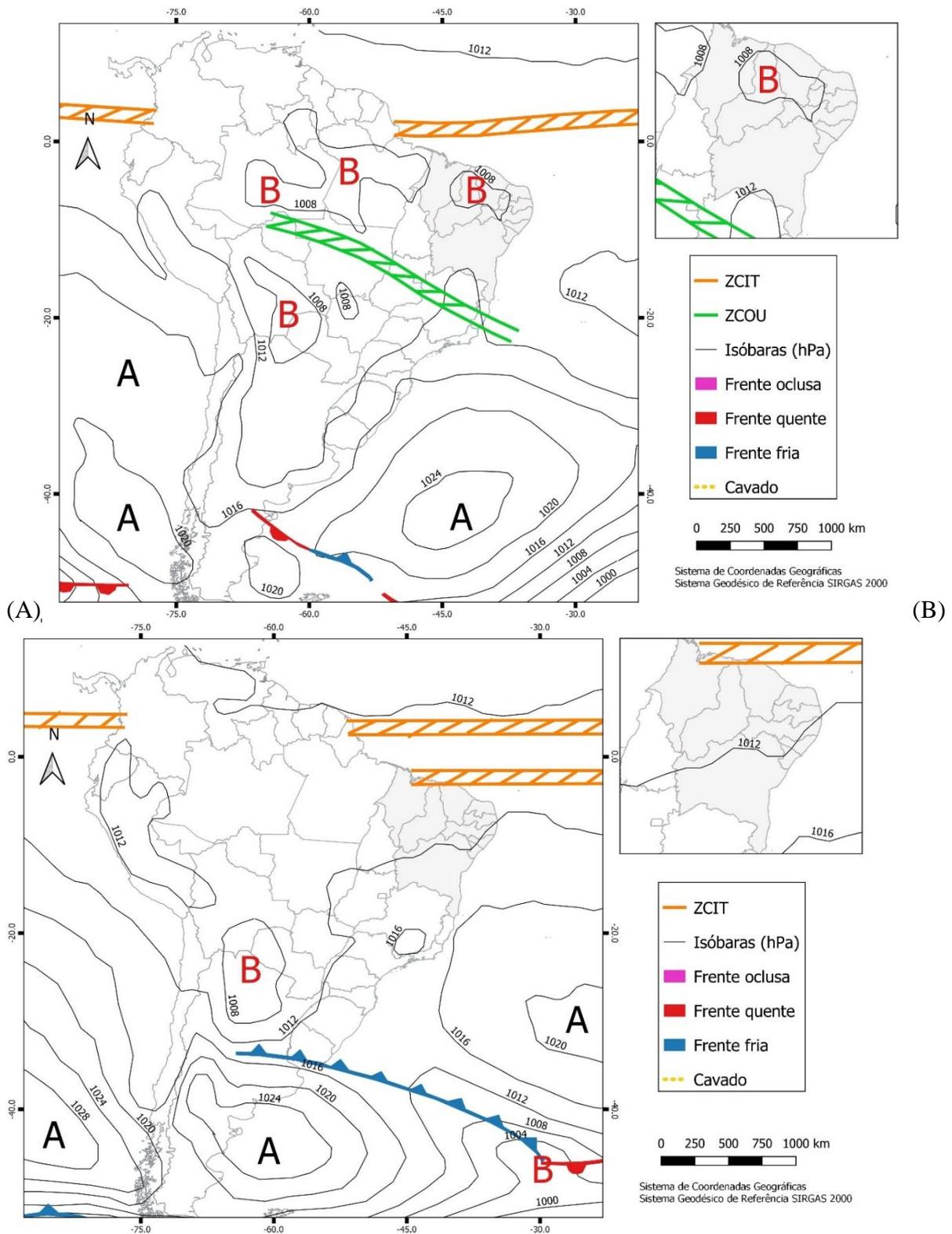
Como representante dos padrões sinóticos de verão, foram analisadas as cartas sinóticas dos dias 03/03/2010 e 25/02/2015, apresentadas na Figura 11. As cartas de verão apresentaram distinções associadas ao posicionamento dos principais centros de ação (ASAS, ZCIT e ZCAS) característicos da estação.

No dia 03/03/2010 a ZCOU atuou nas regiões centrais do Brasil, influenciando o tempo entre os estados de Rondônia e Espírito Santo. No norte e nordeste do país observou-se a expansão de centros de baixa pressão atmosférica em decorrência da atuação da mEC e influência de pulsos da ZCIT. Em relação ao NEB, o núcleo do ASAS, encontrava-se deslocado

para oeste, quando comparado com seu posicionamento na segunda carta de verão (Figura 11 B), o que facilitava o desenvolvimento de instabilidade convectiva no centro norte do Brasil. Observou-se um núcleo de baixas pressões que favorecia o desenvolvimento de instabilidade atmosférica entre os estados do Maranhão, Piauí, Paraíba e Pernambuco.

A Figura 11 B apresentou, na carta do dia 25/02/2015, a atuação de uma banda dupla da ZCIT influenciando as condições de tempo sobre o litoral setentrional do NEB. Em parte da faixa leste da região, e ao longo do interior da Bahia, a atuação do ASAS (demarcada de pela isóbara de 1012 hPa) caracterizava tipos de tempo relacionados à atuação da massa Tropical Atlântica (mTA, mTA1), e sua variante continentalizada (mTAC).

Figura 11 - Cartas sinóticas de superfície do continente sul americano para os dias 03/03/2010 (A) e 25/02/2015 (B) às 18h UTC.



Legenda: A = Alta pressão, B = Baixa pressão, ZCIT = Zona de Convergência Intertropical, ZCOU = Zona de Convergência de Umidade.

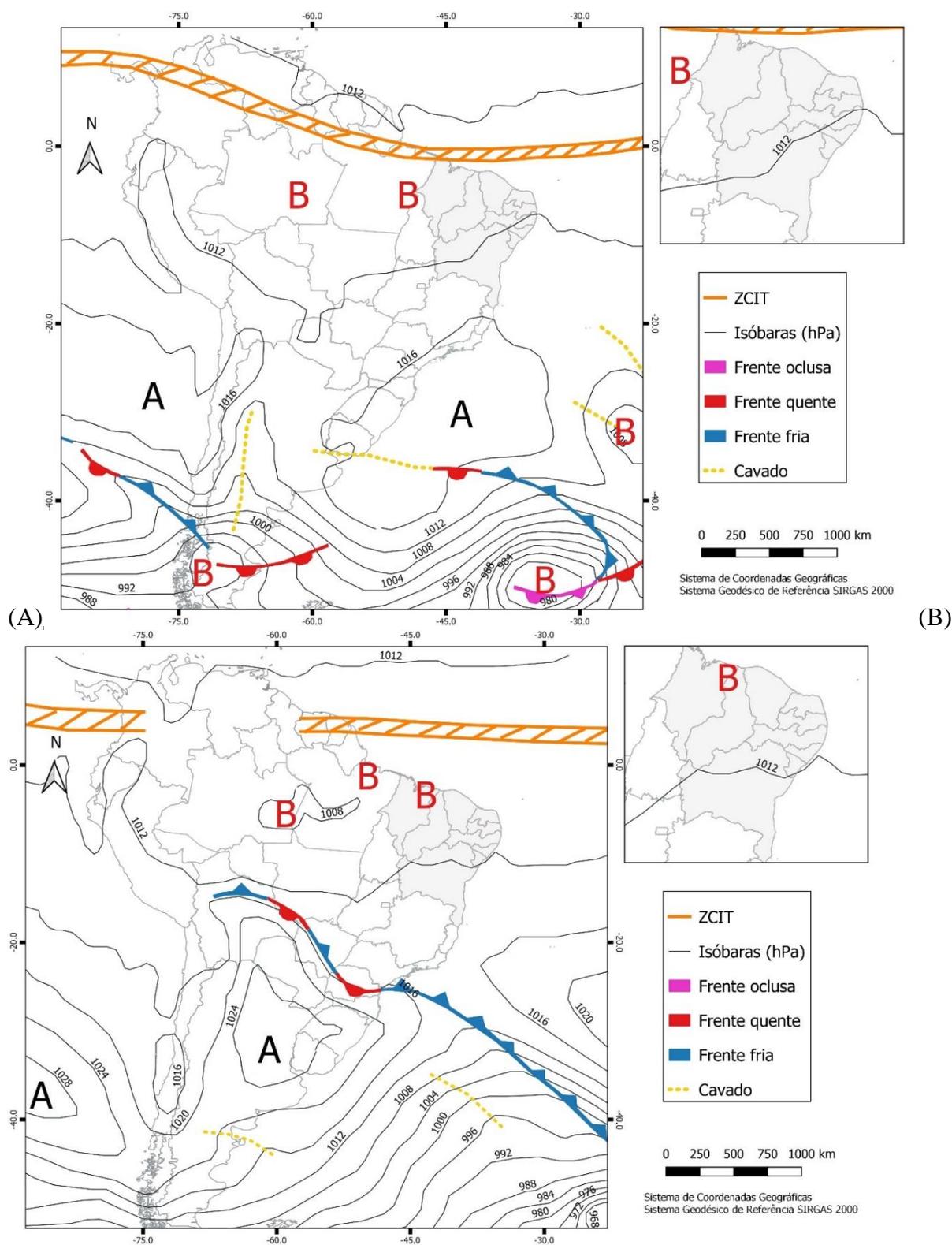
Fonte dos dados: CPTEC/INPE. Organizado pelo autor.

Os padrões sinóticos de outono foram representados nas cartas sinóticas dos dias 08/05/2009 e 16/05/2013. Essas configurações atmosféricas apresentaram distinções associadas ao posicionamento do ASAS e da ZCIT. Na carta mais antiga, a ZCIT atuava sobre o litoral setentrional do NEB, produzindo instabilidade convectiva entre o norte e nordeste do país. Na carta mais recente, as condições meteorológicas em superfície estavam condicionadas à atuação das altas pressões relativas ao ASAS sobre o continente.

A carta sinótica do dia 08/05/2009, apresentada na Figura 12 A, mostrou um deslocamento das isóbaras associadas ao ASAS, em relação ao posicionamento habitual desse sistema. Um núcleo de altas pressões foi observado entre o sul e sudeste do país. A atuação da ZCIT sobre o norte do NEB ocasionou a predominância de tipos de tempo úmidos e estáveis (sobre o interior da região). A fraca instabilidade (sobre as áreas litorâneas do Nordeste oriental) predominou em virtude da presença das configurações de tipos de tempo mTA e mTA1.

Na carta do dia 16/05/2013, apresentada na Figura 12 B, a configuração sinótica esteve relacionada aos tipos de tempo decorrentes do prolongamento do ASAS sobre o estado da Bahia, com tempo seco, associado à atuação da mTAC, no interior desse estado. O centro do ASAS posicionava-se entre 20 e 15° W. No noroeste da região, a expansão da mEC provocou condições de tempo instáveis. No leste e noroeste da região, elevados valores de temperatura e umidade decorreram da presença das variantes úmidas da massa Tropical Atlântica (mTA, mTA1). Uma frente fria estacionária atuava entre o sul da Bolívia e o oceano Atlântico, provocando tempo instável em parte do centro sul do país.

Figura 12 - Cartas sinóticas de superfície do continente sul americano para os dias 08/05/2009 (A) e 16/05/2013 (B) às 18h UTC.



Legenda: A = Alta pressão, B = Baixa pressão, ZCIT = Zona de Convergência Intertropical.  
 Fonte dos dados: CPTEC/INPE. Organizado pelo autor.

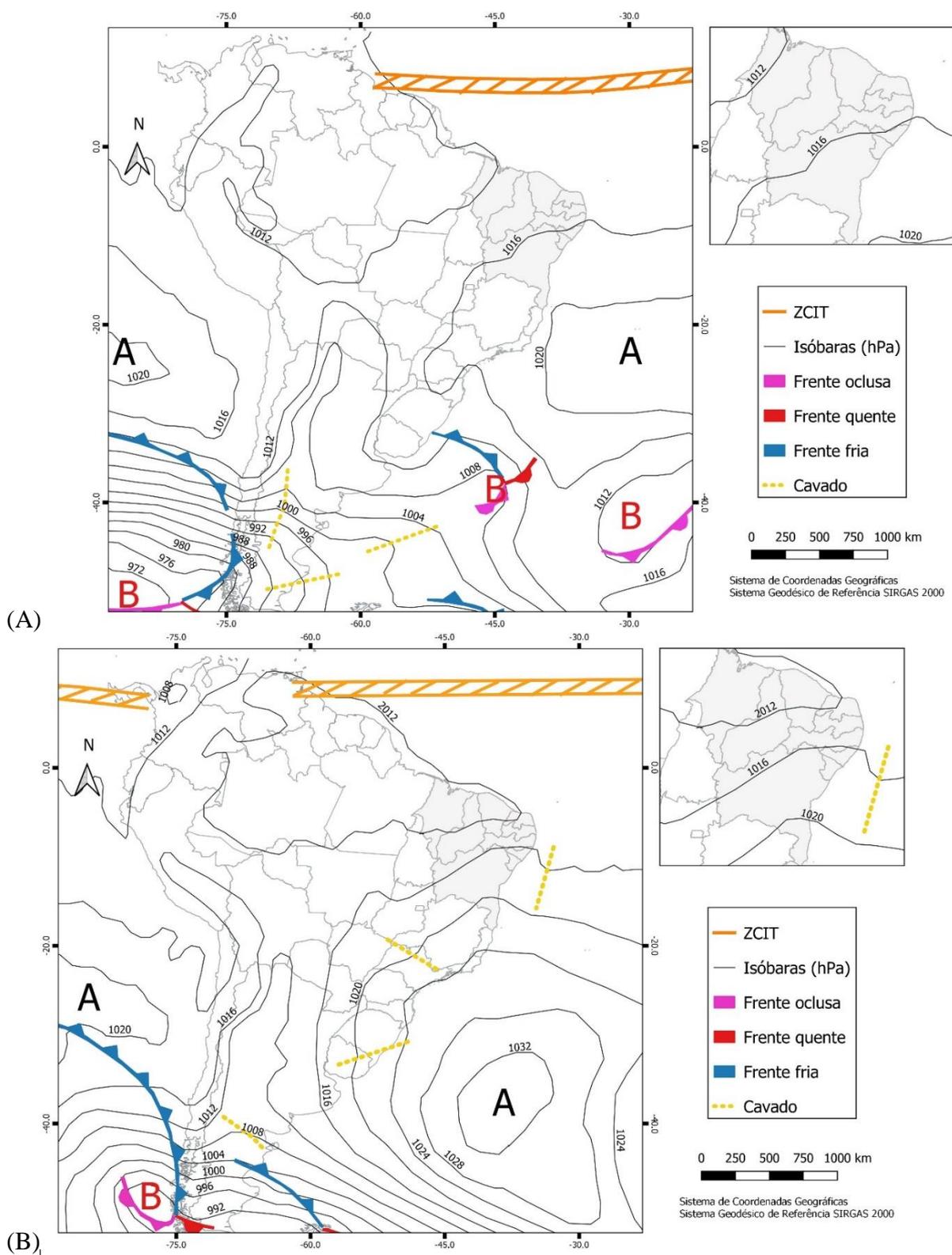
Para a janela sazonal de inverno, foram descritos os padrões sinóticos que caracterizaram os tipos de tempo nos dias 01/08/2014 e 27/07/2017. Em ambas as cartas se constatou que os tipos de tempo observados decorrem do prolongamento do ASAS sobre o continente durante os meses de inverno.

Para a carta sinótica do mês de agosto foi observado um prolongamento das isóbaras a partir do núcleo de alta pressão atmosférica sobre o oceano, as quais influenciaram os tipos de tempo sobre o NEB. Para o referido dia foram identificados dois tipos de tempo principais atuando nas estações centroides dos grupos de inverno. O tipo de tempo relacionados à atuação da mTA1 foi observado, principalmente, no litoral entre dos domínios das isóbaras de 1020 e 1016 hPa, e foram caracterizados por apresentar instabilidade advectiva. Condições de fraca instabilidade, atribuídas à mTA1, relacionadas aos ventos de leste em superfície foram constatadas também entre o litoral do Ceará e Maranhão. O tempo seco e quente predominou no interior da Região Nordeste, configurando a atuação da mTAC desde o oeste da Bahia, de Pernambuco, da Paraíba e no interior dos demais estados.

A configuração sinótica de 27/07/2017 (Figura 13 A) apresentou uma ampla influência dos tipos de tempo relacionados à atuação do ASAS sobre o centro leste da América do Sul. O núcleo de alta pressão atmosférica esteve posicionado em torno dos 30° S sobre o oceano Atlântico, com isóbaras de 1024hPa e 1016hPa, influenciando as condições sinóticas sobre o continente. No litoral da Região Nordeste, as características atmosféricas foram influenciadas pelo deslocamento de um cavado em superfície ao longo do campo dos alísios.

Na carta sinótica do dia 27/07/2017, apresentada na Figura 13 B, as estações centroides do NEB apresentaram tipos de tempo com distintas características quanto à estabilidade e à umidade atmosférica em superfície. No centro leste da Bahia, leste de Pernambuco, da Paraíba, de Alagoas e do Rio Grande do Norte, foi observada configuração da mTA1, em consequência do avanço das perturbações, produzidas pelos cavados em superfície, que se deslocaram de leste sobre o continente. Nas áreas interiores do NEB predominaram os tipos de tempo secos e estáveis referentes à mTAC. No litoral setentrional da região identificou-se a presença de fraca instabilidade advectiva (mTA) no campo de influência dos alísios.

Figura 13 - Cartas sinóticas de superfície do continente sul americano para os dias 01/08/2014 (A) e 27/07/2017 (B) às 18h UTC.



Legenda: A = Alta pressão, B = baixa pressão, ZCIT = Zona de Convergência Intertropical.

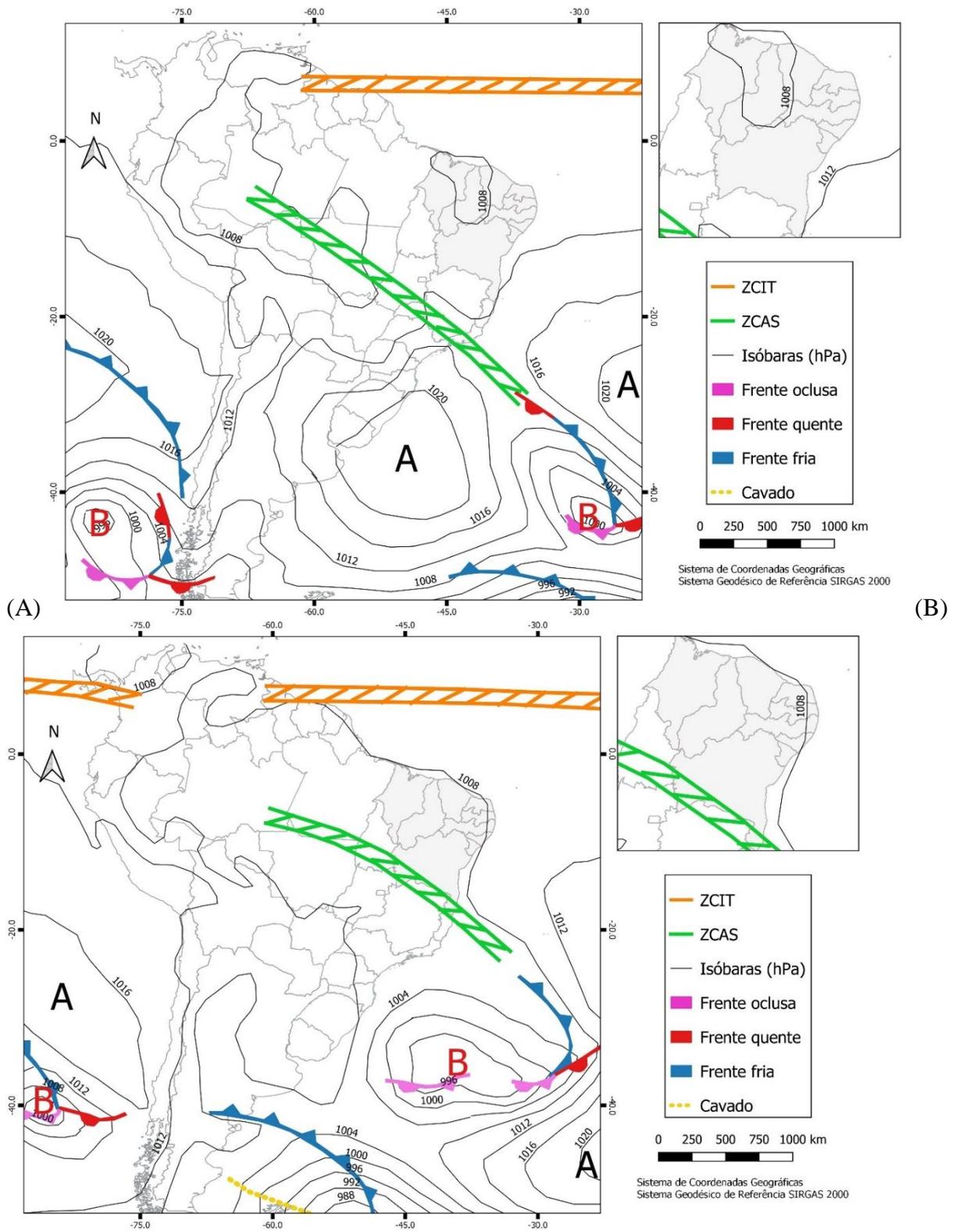
Fonte dos dados: CPTEC/INPE. Organizado pelo autor.

Os padrões sinóticos identificados para a janela sazonal de primavera demonstraram, sobre a Região Nordeste do Brasil, uma diminuição dos valores de pressão atmosférica em relação ao inverno. Campos isobáricos inferiores a 1012 hPa foram observados sobre o NEB a partir do deslocamento do núcleo do ASAS para oeste. Todavia, a diminuição dos campos de pressão atmosférica não aumentou a ocorrência de tipos de tempo instáveis, de maneira heterogênea, sobre a região. Os padrões sinóticos típicos elevaram a frequência de desenvolvimento de instabilidade no centro-sul do estado da Bahia e sul do Piauí na primavera. Para as demais áreas da região foram registrados, de modo predominante, a ocorrência de tipos de tempos estáveis, em decorrência da atuação da massa Tropical Atlântica, e suas variantes oceânica e úmida (mTA), e continentazida e seca (mTAC).

Na carta sinótica do dia 05/11/2013, apresentada na Figura 14 A, predominaram sobre o NEB tipos de tempo estáveis relacionados à atuação da mTA e mTAC. O núcleo do ASAS encontrava-se posicionado entre 30 ° S e 20° W, com isóbaras de 1012 hPa se deslocando em direção ao litoral dos estados do Espírito Santo e da Bahia. Uma extensa faixa de instabilidade posicionava-se entre o Amazonas e o Rio de Janeiro, caracterizando um episódio da ZCAS. Na retaguarda da zona de convergência um anticiclone migratório atuava entre o estado de São Paulo e o Rio Grande do Sul.

A Figura 14 B apresenta a carta sinótica do dia 12/11/2017. Para essa data foram observadas condições de tempo instáveis para o sul e oeste do NEB, entre o sudoeste da Bahia e Sul do Piauí e Maranhão. Em comparação ao padrão sinótico de primavera analisado anteriormente, constatou-se um deslocamento para o norte da posição de atuação da ZCAS. As áreas setentrionais do NEB, todavia, permaneceram com condições de tempo estáveis, sob atuação das variantes da massa Tropical Atlântica.

Figura 14 - Cartas sinóticas de superfície do continente sul americano para os dias 05/11/2013 (A) e 12/11/2017 (B) às 18h UTC.



Legenda: A= Alta pressão, B = Baixa pressão, ZCIT = Zona de Convergência Intertropical e ZCAS=Zona de Convergência do Atlântico Sul.  
 Fonte dos dados: CPTEC/INPE. Organizado pelo autor.

As configurações sinóticas de superfície revelaram padrões típicos sazonais associados aos principais tipos de tempo sobre o NEB. Satyamurty e Rosa (2019) identificaram condições sinóticas sazonais típicas da América do Sul, por meio da análise de imagens de satélite, corroborando os resultados apresentados no presente estudo. Esses autores destacaram padrões sinóticos conhecidos para o NEB e apresentaram configurações menos discutidas na literatura. Foram evidenciadas a formação da ZCAS e atuação da ZCIT. Em relação ao interior da região, concluíram que a gênese do clima semiárido é explicada pelo prolongamento de áreas estáveis persistentes sobre o Atlântico Sul, identificadas nas imagens de vapor de água e visível. Ademais, observaram que habitualmente, um cinturão de nuvens estratiformes (identificadas nas imagens visíveis) atuam no litoral da região, com largura frequente de até 200 Km.

De maneira análoga, a proposta presente considerou que a massa de ar originária no ASAS, a partir de suas modificações em interação com a superfície continental, foi determinante na caracterização dos padrões sinóticos regionais. Desse modo, as áreas costeiras foram frequentemente influenciadas pelas componentes úmidas oceânicas (mTA e mTA1), enquanto que no interior as condições secas e estáveis (relacionadas à atuação da mTAC) foram predominantes. Essa distinção entre os tipos de tempo com gênese no ASAS, observados ao longo da costa e do interior, estão relacionadas ao regime antifásico de precipitação entre os tipos climáticos do NE oriental e ocidental. Enquanto na faixa litorânea o período de chuvas ocorre de abril a agosto e está relacionado à expansão do ASAS e fortalecimento dos ventos alísios, nas áreas interiores centrais e ocidentais do NEB o período chuvoso ocorre a partir do enfraquecimento da alta subtropical e do fortalecimento das baixas pressões continentais.

Em estudo com metodologia semiobjetiva de classificação dos padrões de circulação atmosférica para o semiárido do Nordeste do Brasil, Laux et al. (2020) utilizaram variáveis próximas à superfície, com altura geopotencial de 1000 hPa e velocidade do vento dos níveis médios da atmosfera (700 hPa) para a identificação de padrões de circulação. Esses autores agruparam 11 padrões de circulação, os quais foram organizados em três grupos principais. Apesar de metodologias de análise distintas, os resultados apresentaram alguma conformidade com o presente estudo. Os padrões observados decorreram, essencialmente, da intensidade sazonal dos centros de ação semifixos, e do estabelecimento de centros isobáricos transitórios. De modo geral, os tipos de tempo secos sobre o interior da região estiveram relacionados a um fortalecimento do núcleo oceânico de altas pressões, consorciado ao enfraquecimento das baixas pressões estabelecidas no sudoeste do Brasil, ou ao fortalecimento de extensões continentais da alta marítima sobre o sudeste do país. Por outro lado, as condições úmidas estiveram relacionadas ao enfraquecimento das altas pressões de origem oceânica, associada ao

fortalecimento de baixas pressões continentais, ou ao enfraquecimento da extensão da alta pressão marítima sobre o sudeste do Brasil.

Condições similares de campos isobáricos, em superfície, foram apresentados no estudo presente. A expansão do ASAS e fortalecimento das isóbaras que se prolongaram sobre o litoral brasileiro estiveram frequentemente relacionadas a tipos de tempo secos (produzidos pela mTAC) sobre o interior da Região Nordeste. Em configurações distintas, o enfraquecimento do ASAS ou deslocamento desse sistema para oeste, e a expansão das baixas pressões continentais culminaram na ocorrência de tipos de tempo instáveis sobre o interior nordestino, com desenvolvimento de instabilidade convectiva, a partir da atuação da ZCAS, mEC ou ZCIT.

#### 5.2.4 Análise de Componentes Principais e frequências de atuação dos sistemas sinóticos

A seguir, foram apresentados os resultados da ACP das frequências de atuação tipos de tempo (referentes às massas de ar e sistemas sinóticos individualizados) identificados para as estações meteorológicas. A ACP apresentou proporção da variância de 26%, 14%, 13%, 9% e 7% para os componentes 1,2,3, 4 e 5 respectivamente (Tabela 10). A proporção acumulada para os quatro primeiros componentes representou 69% da variância da matriz de frequência de atuação das massas de ar e sistemas sinóticos identificados para as estações meteorológicas. As massas de ar e sistemas sinóticos com frequências sazonais, que apresentara maior relação com os cinco primeiros componentes, foram aqueles que apresentaram maior importância para o agrupamento dos tipos climáticos.

Tabela 10 - Autovalores dos componentes principais, proporção da variância e proporção acumulada referente a cada componente principal.

COMPONENTES	VALOR	PROPORÇÃO	PROPORÇÃO ACUMULADA
1	5,95	0,26	0,26
2	3,29	0,14	0,40
3	3,06	0,13	0,53
4	2,02	0,09	0,62
5	1,63	0,07	0,69
6	1,24	0,05	0,75
7	1,12	0,05	0,8
8	0,87	0,04	0,83
9	0,75	0,03	0,87

Organizado pelo autor.

Na tabela 11 foram apresentados os autovetores ou coeficientes de ponderação, referentes às frequências das massas de ar e sistemas sinóticos, relacionados aos sete primeiros componentes principais. Observou-se que para o componente 1, com maior importância para a variância dos dados, os maiores autovetores (em módulo) estiveram relacionados às frequências da mTA1 para todas as estações do ano, e para a mTAC, que apresentou maiores autovetores nas estações de inverno e primavera. Esse componente se relacionou positivamente com a camada mais úmida da (mTA1) e negativamente com a mais seca (mTAC).

Para o CP 2, os maiores autovetores estiveram relacionados à ZCIT, durante o verão e outono, e à mTA durante o outono. Esse componente apresentou relação positiva com regimes climáticos influenciados pela ZCIT no verão e outono, e coeficientes de ponderação negativa para a mTA1, ZCAS (no verão) e mTC (no outono).

O componente 3 apresentou os maiores autovetores referentes à mEC, durante o verão, à mTC, durante o inverno, e à ZCAS, durante a primavera. Coeficientes de ponderação negativa estiveram relacionados com as frequências de atuação da mTAC no verão e na primavera.

O CP 4 apresentou maiores autovetores para tipos de tempo transitórios na primavera e no inverno, indicando mais elevada relação positiva com dinâmicas climáticas transitórias entre as massas secas e úmidas. Os índices de ponderação positivos para a mTA, no inverno, e negativos para mTAC, na mesma estação do ano, indicaram que o regime destacado esteve relacionado a áreas de transição entre as duas componentes da massa atlântica. O CP 4 apresentou correlação negativa com a frequência de atuação da ZCIT e ZCAS no verão.

Tabela 11 - Autovetores referentes às variáveis (massas de ar e sistemas sinóticos individualizados) da matriz de dados da ACP.

								continua
VARIÁVEIS	ESTAÇÃO	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7
mTA	inverno	0,19	0,21	0,00	0,31	0,13	0,40	-0,20
mTA1	inverno	0,35	-0,16	-0,09	-0,06	0,04	-0,06	-0,02
mTAC	inverno	-0,32	0,02	0,16	-0,30	0,07	-0,07	0,09
T	inverno	-0,07	0,00	-0,27	0,32	-0,32	-0,20	0,10
mTC	inverno	-0,13	-0,13	0,42	0,02	-0,03	-0,01	-0,11
mTA	outono	0,00	0,30	-0,08	0,04	0,49	-0,13	0,15
mTA1	outono	0,34	-0,23	-0,10	0,03	0,06	-0,06	0,03
mTAC	outono	-0,28	-0,16	0,04	-0,21	0,02	0,37	0,05
T	outono	-0,19	-0,11	-0,14	0,28	-0,31	-0,31	-0,19
mTC	outono	-0,14	-0,23	0,25	0,01	0,02	0,42	0,10
ZCIT	outono	0,05	0,40	0,23	-0,13	-0,23	-0,06	-0,03
mTA	primavera	0,19	0,28	0,18	0,17	-0,14	0,27	-0,01

Tabela 11 - Autovetores referentes às variáveis (massas de ar e sistemas sinóticos individualizados) da matriz de dados da ACP.

VARIÁVEIS	ESTAÇÃO	conclusão						
		CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7
mTA1	primavera	0,32	-0,20	-0,02	-0,27	-0,06	-0,06	-0,12
mTAC	primavera	-0,31	0,08	-0,28	-0,18	0,01	-0,09	0,12
T	primavera	-0,04	-0,15	0,24	0,43	0,25	-0,00	-0,16
ZCAS	primavera	-0,02	-0,29	0,30	0,14	0,02	-0,21	0,24
mTA	verão	0,10	0,11	0,05	0,29	0,03	-0,03	0,66
mTA1	verão	0,33	-0,21	-0,03	-0,19	-0,02	0,00	-0,16
mTAC	verão	-0,22	-0,15	-0,25	0,14	-0,29	0,34	-0,04
T	verão	-0,18	-0,02	-0,17	0,01	0,51	-0,09	-0,20
mEC	verão	-0,10	-0,07	0,43	0,05	-0,04	-0,32	-0,16
ZCAS	verão	0,10	-0,22	0,04	-0,17	-0,03	0,04	0,46
ZCIT	verão	0,08	0,40	0,17	-0,23	-0,20	-0,07	-0,01

Legenda: CP=Componente Principal, mTA=massa Tropical Atlântica, mTA1=massa Tropical Atlântica (úmida e instável), mTAC=massa Tropical Atlântica Continentalizada, T=condição transitória, mEC=massa Equatorial Continental, mTC=massa Tropical Continental, ZCIT=Zona de Convergência Intertropical e ZCAS=Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Organizado pelo autor.

A Figura 15 apresentou os escores espacializados dos quatro primeiros CP no NEB. O CP 1 apresentou a dinâmica climática contrastante entre as estações influenciadas pelos alísios úmidos durante todo o ano, e o regime climático continental. Foram verificados coeficientes de ponderação positivos maiores para as estações com maior influência da mTA1 ao longo do ano, e negativos para as estações com maior influência da mTAC na primavera e no inverno. Valores positivos também estiveram relacionados à atuação da mEC, no verão, e mTC no outono e inverno. Desse modo, sistemas atmosféricos continentais se relacionaram positivamente, enquanto que os influenciados por características oceânicas tiveram coeficientes de ponderação negativos. A espacialização do CP1 revelou que os escores negativos predominaram no centro oeste do NEB e as cargas positivas de maior intensidade concentraram-se nos extremos leste e noroeste da região.

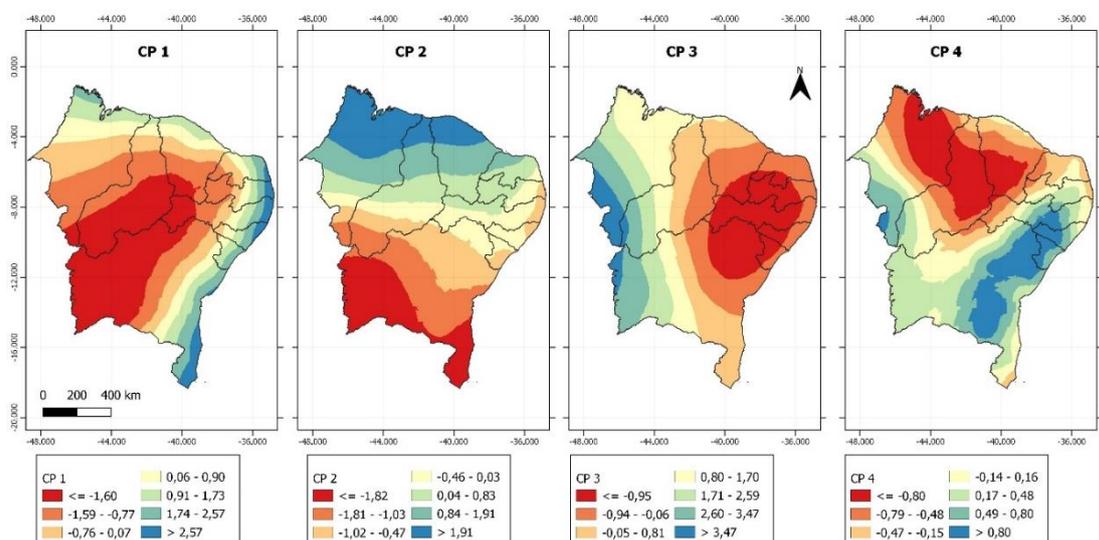
Os escores positivos referentes ao CP 2 apresentaram correlação mais forte com a atuação da ZCIT no verão e na primavera. Na Figura 15 verificou-se que as cargas positivas do CP 2 se concentraram no NE setentrional, com maior intensidade sobre o norte do Maranhão, Piauí e Ceará. Os valores negativos para o PC2 ocorreram sobre o NE oriental e meridional, e estiveram relacionados a correlações negativas mais fortes com as frequências de atuação da mTA1 ao longo de todo o ano, da ZCAS na primavera e da mTC no outono. Desse modo, O CP2 distinguiu três regimes climáticos: o das chuvas de verão e outono provocadas pela ZCIT,

o da dinâmica atmosférica do NE oriental regido pelo ar úmido da mTA1 durante todo o ano, e o regime sazonal da monção sul americana no sul e oeste do NEB.

Os maiores escores referentes ao componente 3 apresentaram relação com a dinâmica climática do centro oeste do NEB, onde as massas de ar de origem continental foram dominantes na caracterização climática. Foram verificadas correlações positivas mais significativas do CP 3 com as frequências de atuação da mTC, no inverno e outono, com a mEC no verão e com a ZCAS na primavera. Correlações negativas mais fortes do CP 3 ocorreram com as frequências da mTAC na primavera e verão e com tipos de tempo transitórios no inverno. Na Figura 15, a espacialização dos escores do CP 3 permitiu distinguir dois regimes climáticos sub-regionais. A dinâmica atmosférica representada pela alternância de massas úmidas e secas continentais, com maiores cargas positivas, concentrou-se no NE ocidental. A sub-região de máxima atuação da mTAC na primavera e verão esteve localizada no centro leste do NEB, relacionando-se negativamente com o CP3.

O CP 4 realçou as dinâmicas atmosféricas de três sub-regiões climáticas. A primeira delas, apresentada na Figura 15, correspondeu a extensas áreas do centro norte do NEB e apresentou correlação negativa com o CP 4 decorrente dos coeficientes de ponderação negativos da frequência de atuação da ZCIT no verão, da mTAC no inverno e outono. As outras duas sub-regiões apresentaram escores positivos do CP 4 em virtude das correlações positivas com os tipos de tempo transitórios ao longo do ano. Os coeficientes positivos máximos se concentraram em duas áreas, uma delas orientada de sudoeste para nordeste, ao logo do NE oriental, e outra no sul do Maranhão. Para os escores positivos, além dos tipos de tempo transitórios, foram associados regimes climáticos marcados pela atuação da mTA no inverno e verão, e da mTAC no verão.

Figura 15 - Escores dos Componentes Principais (CP1, CP2, CP3 e CP4) relativos aos regimes climáticos decorrentes das frequências das massas de ar e sistemas sinóticos no Nordeste do Brasil entre 1980 e 2017.



Fonte dos dados: INMET e IBGE. Organizado pelo autor.

Os quatro primeiros componentes descritos, explicaram maior parte da variância referente às frequências das massas de ar, e apresentaram os principais grupos relativos às dinâmicas climáticas sazonais. Ressalta-se que os componentes descritos explicaram os padrões de atuação de tipos de tempo independentes e não correlacionados que sintetizaram a climatologia regional. Ademais, a ACP revelou que os tipos de tempo mais representativos para a classificação dos grupos climáticos na Região Nordeste do Brasil, estiveram relacionados às frequências de atuação das variantes úmidas (mTA e mTA1) e seca (mTAC) da massa Tropical Atlântica. Sazonalmente, as atuações da mTC e mEC também representaram importância no agrupamento das classes climáticas regionais. Os sistemas sinóticos individualizados, relacionados a tipos de tempo instáveis, a ZCAS e a ZCIT contribuíram durante a primavera, verão e outono para a caracterização dos tipos climáticos.

### 5.2.5 Agrupamento climático a partir da metodologia dos tipos sinóticos de tempo

O agrupamento climático a partir da metodologia de classificação sinótica resultou em nove classes climáticas: (1) clima tropical úmido do NE setentrional, (2) clima tropical úmido do NE oriental, (3) clima tropical úmido do NE meridional, (4) clima tropical semissecos do NE oriental, (5) clima tropical semissecos do NE central, (6) clima tropical semissecos do NE ocidental, (7) clima tropical semiúmido do NE oriental, (8) clima tropical semiúmido do NE

ocidental e (9) clima tropical semiúmido do NE setentrional (Figura 16). Os conglomerados de climas para a Região Nordeste do Brasil puderam ser agrupados de acordo com a frequência das massas de ar identificadas para as janelas sazonais investigadas.

No Quadro 7 foi apresentada a hierarquia de classificação dos tipos climáticos para a Região Nordeste do Brasil com base na metodologia dos tipos sinóticos de tempo. Foi definido que, quanto ao domínio, os climas poderiam ser classificados em Equatoriais e Tropicais. Os grupos climáticos com frequências de atuação iguais ou superiores a 50% para os sistemas sinóticos de origem tropical ou equatorial, definiram o domínio climático zonal. Quanto ao tipo climático foram estabelecidas as classes úmidas, semiúmidas e semissecas, condicionada à frequência de atuação de tipos de tempo que favoreceram condições atmosféricas úmidas ou secas em superfície. Tipos climáticos úmidos foram delimitados pelas frequências médias de tipos de tempo úmidos iguais ou superiores a 70% ao longo do ano, e pela soma das frequências dos tipos de tempo secos e transitórios de 0 a 30%. Climas semiúmidos foram aqueles com frequência dos tipos de tempo úmidos inferiores a 70% e maiores ou iguais a 30%, e somatório das frequências dos tipos de tempo secos e transitórios superiores ou iguais a 30% e inferiores a 70%. Os climas semissecos foram aqueles que apresentaram frequências médias anuais de tipos de tempo úmidos superiores a 10% e inferiores a 30%, com somatório dos tipos de tempo secos e transitórios maiores que 70% e inferiores a 90%. A categoria seca não foi utilizada para os grupos climáticos do NEB, sendo aquela em que os tipos de tempo úmidos representam frequência anual de apenas 10%. Os subtipos climáticos, foram definidos de acordo com a localização territorial, em orientais, centrais, ocidentais, setentrionais e meridionais.

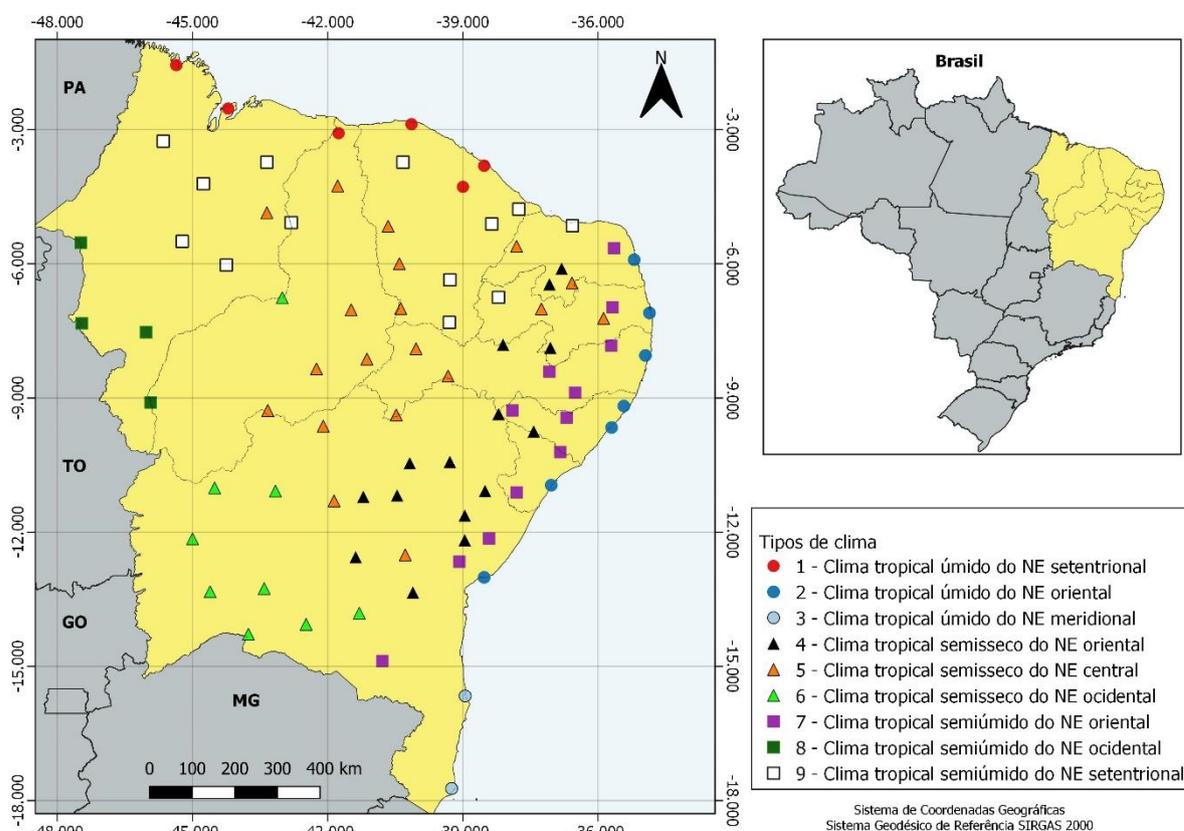
Quadro 7 - Critérios de classificação quanto aos domínios e tipos de clima para a Região Nordeste do Brasil

<b>DOMÍNIO</b>	<b>ORIGEM DAS MASSAS DE AR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE TEMPO ÚMIDOS (%)</b>	<b>FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE TEMPO SECOS E TRANSITÓRIOS (%)</b>
Tropical	Trópicos (>50%)	úmido	$\geq 70$	0 – 30
		semiúmido	$70 > x \geq 30$	$30 < x \leq 70$
		semisseco	$30 > x > 10$	$70 < x < 90$
		seco	0 -10	$\geq 90$

Organizado pelo autor.

Todos os grupos climáticos foram classificados como pertencentes ao domínio tropical, pois constatou-se que as massas de ar que atuaram na maior parte do tempo com frequência superior a 50% sobre o NEB nas janelas sazonais investigadas possuem origem tropical. Dos nove tipos climáticos identificados, três foram classificados como úmidos, três como semiúmidos e três como semissecos.

Figura 16 - Tipos climáticos classificados para a Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017) de acordo com o agrupamento dos tipos sinóticos de tempo.



Fonte dos dados: IBGE e INMET. Organizado pelo autor.

A partir da análise gráfica foi possível distinguir as similaridades e dissimilaridades entre os grupos formados. O tipo climático tropical úmido do NE oriental (2) apresentou maior similaridade com o tipo climático tropical úmido do NE meridional (3). O subgrupo formado por estas duas classes climáticas úmidas apresentou a maior distância em relação aos demais grupos. O clima tropical úmido do NE setentrional (1) apresentou características climáticas distintas em relação aos demais grupos úmidos. Os climas tropicais semissecos do NE oriental (4) e (5) central apresentaram comportamento climático similar quanto à frequência de atuação dos sistemas sinóticos. O clima tropical semiseco do NE ocidental (6) apresentou maior

similaridade climática com o tipo climático tropical semiúmido do NE ocidental (8). Os grupos dos climas tropicais semiúmidos do NE oriental (7) e setentrional (9) apresentaram a maior correspondência estatística. De maneira geral, as classes semissecas e as semiúmidas, do NE ocidental, apresentaram comportamento climático semelhante.

As frequências de atuação das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados, mais representativos, para cada tipo climático, são apresentadas na Tabela 8.

Os climas classificados como úmidos apresentaram tipos de tempo úmidos atuando durante todas as janelas sazonais, condicionados prioritariamente pelas massas de ar úmidas de origem oceânica (mTA e mTA1). No que se refere às frequências anuais de atuação, apresentadas na Tabela 12, o tipo climático 1 (tropical úmido do NE setentrional) apresentou predomínio de tipos de tempo controlados pela atuação da mTA (0,429) e da mTA1 (0,205). Esse grupo climático, localizado na costa setentrional da Região Nordeste do Brasil, também foi caracterizado pela elevada frequência de atuação da ZCIT (0,366) ao longo do ano. Apesar do aglomerado 1 ter sido classificado como úmido, destaca-se que apresentou mais alta frequência de atuação de massa tropical úmida relacionada à estabilidade atmosférica (à mTA) ao longo das janelas sazonais, e por essa razão, está provavelmente sujeito a um maior período de estiagem do que as demais categorias úmidas.

O tipo climático 2 (tropical úmido do NE oriental) foi controlado essencialmente pela atuação da massa Tropical Atlântica, com frequências anuais de 0,111 e 0,867 para a mTA e mTA1, respectivamente. O tipo climático 3 (tropical úmido do NE meridional), representado pelas estações de Caravelas e Canavieiras no sul do estado da Bahia, apresentou maior frequência para atuação da mTA1 (0,861) e frequências de 0,085 e 0,054 para a atuação respectiva da ZCAS e mTA.

Os climas semissecos apresentaram frequência percentual de atuação anual das massas úmidas entre 10,0% e 25,0%, e atuação de tipos de tempo secos entre 35,0% e 70,0%. Os tipos de tempo transitórios entre massas úmidas e secas corresponderam a uma frequência percentual entre 20% e 35%. Para os climas semissecos, a frequência de atuação das massas de ar concentra-se em até três tipos ao longo do ano.

O tipo climático 4 (tropical semisseco do NE oriental) apresentou a menor frequência de atuação dos tipos de tempo secos e a maior frequência de tipos úmidos entre as classes dos climas semissecos. Todavia, a predominância de atuação de atuação da mTAC (com frequência de 0,374) e do tipo de tempo transitório (relacionado a condições atmosféricas estáveis, como descrito na seção 5.1.1) permitiram classificar o tipo climático 4 como semisseco. Ademais, a baixa frequência média de atuação de massas úmidas nas janelas sazonais foi um argumento de

classificação do tipo 4 como semisseco. Entre os tipos de tempo úmidos, destacaram-se aqueles relacionados à mTA1 (com frequência média de 0,148). Outros tipos de tempo úmidos apresentaram frequência percentual inferior a 10%.

A classe climática 5 (clima tropical semisseco do NE central) apresentou máxima frequência de atuação de tipos de tempo associada à mTAC (0,658), seguida pela atuação dos tipos de tempo transitórios (0,225). Os tipos de tempo úmidos apresentaram uma frequência média anual de 0,113. O tipo climático 6 (tropical semisseco do NE ocidental) apresentou forte similaridade com o tipo 5. Nessa classe climática a mTAC apresentou frequência anual de 0,596, e os tipos de tempo transitórios atuaram a uma frequência anual de 0,190. Nessa região climática, os tipos de tempo úmidos atuaram com frequência anual de 0,144.

Os climas semiúmidos apresentaram frequência percentual dos tipos de tempo úmidos entre 40,0% e 65,0% durante o ano, e atuação de tipos de tempo secos com frequência entre 15,0 e 50,0%. Os tipos de tempo transitórios, com elevada variação da umidade relativa às 18h UTC, apresentaram um percentual anual de atuação entre 10% e 25%. Em relação aos tipos climáticos úmidos e semissecos, observou-se que os climas semiúmidos apresentaram maior diversidade de tipos de tempo com predominância de, pelo menos, quatro tipos ao longo do ano.

O tipo climático 7 (clima tropical úmido do NE oriental) apresentou maior frequência anual de controle climático pela mTA (0,349), seguida pela mTA1 (0,281), pelos tipos de tempo transitórios (0,225) e pela mTAC (0,137). Trata-se de um tipo climático de transição entre as regiões climáticas 2 e 4. O clima tropical semiúmido do NE ocidental (tipo 8) foi caracterizado pela predominância dos tipos de tempo transitórios (0,266) e pela mTAC (0,253). Massas úmidas de origem oceânica (mTA) e continental (mEC) tiveram frequência respectiva de 0,123 e 0,181 para a classe climática 8. O clima tropical semiúmido do NE setentrional (tipo climático 9) foi marcado por uma alternância expressiva de atuação de tipo de tempo seco, condicionado pela mTAC (com frequência de 0,469), e dos tipos de tempo úmidos, representadas pela mTA (0,196) e pela ZCIT (0,177).

Tabela 12 - Frequências médias de atuação das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados para os tipos climáticos do Nordeste Brasileiro

TIPOS CLIMÁTICOS	mTA	mTA1	T	mTAC	mTC	mEC	ZCIT	ZCAS
1	0,429	0,205	0,0	0,0	0,0	0,0	0,366	0,0
2	0,111	0,867	0,0	0,0	0,0	0,005	0,013	0,004
3	0,054	0,861	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,085
4	0,097	0,148	0,349	0,374	0,0	0,003	0,014	0,015
5	0,048	0,013	0,225	0,658	0,004	0,01	0,041	0,001
6	0,049	0,003	0,190	0,596	0,070	0,040	0,013	0,039
7	0,349	0,281	0,225	0,137	0,001	0,0	0,005	0,002
8	0,123	0,0	0,266	0,253	0,034	0,181	0,101	0,042
9	0,196	0,020	0,115	0,469	0,004	0,019	0,177	0,0

Legenda: 1-clima tropical úmido do NE setentrional, 2-climatropical úmido do NE oriental, 3- clima tropical úmido do NE meridional, 4 –clima tropical semisseco do NE oriental, 5-clima tropical semisseco do NE central, 6-clima tropical semisseco do NE ocidental, 7-clima tropical semiúmido do NE oriental, 8-clima tropical semiúmido do NE ocidental e 9- clima tropical semiúmido do NE setentrional. mTA=massa Tropical Atlântica, mTA1=massa Tropical Atlântica (úmida e instável), mTAC=massa Tropical Atlântica Continentalizada, T=condição transitória, mEC=massa Equatorial Continental, mTC=massa Tropical Continental, ZCIT=Zona de Convergência Intertropical e ZCAS=Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Organizado pelo autor.

Na tabela 13 foram apresentadas as frequências de atuação sazonal para as massas de ar e sistemas sinóticos individualizados (ZCAS e ZCIT) que apresentaram os maiores autovetores na ACP. Portanto, as frequências apresentadas foram as mais determinantes para a regionalização climática, referentes aos tipos de tempo com maior importância para a caracterização dos tipos climáticos.

O tipo climático 1 foi caracterizado pela elevada frequência de atuação da ZCIT durante o verão (0,588) e a primavera (0,652). Esse fato sugere que os maiores volumes pluviométricos estejam concentrados nessas estações do ano, quando a convergência intertropical migra para latitudes do hemisfério austral e favorece o desenvolvimento de instabilidade convectiva. Como característica secundária para esse tipo climático, destacou-se a atuação da mTA1, gerando condições de tempo quentes e úmidas, com frequência de 0,261 durante o verão, 0,141 no outono, 0,248 no inverno e 0,170 na primavera.

Entre os tipos climáticos tropicais úmidos, observou-se uma maior similaridade entre as classes 2 e 3. Ambas apresentaram maior importância para a atuação da mTA1 durante o todo o ano, com participação dessa massa de ar em mais de 70% na caracterização dos tipos de tempo nas janelas sazonais. Nesse caso, ocorreram com maior frequência condições de tempo quentes, úmidas, com ventos alísios de E-SE e maior probabilidade de desenvolvimento de instabilidade advectiva. O tipo climático 3 diferenciou-se pela atuação da ZCAS durante a primavera, com

frequência de 0,221. Esse sistema sinótico, está relacionado à convergência de umidade em baixos níveis e desenvolvimento de instabilidade convectiva.

Os tipos climáticos semissecos apresentaram pesos distintos, quanto à importância dos tipos de tempo na caracterização climática. A classe climática 4 apresentou menor importância para a atuação da mTAC durante o inverno (com frequência de 0,155) e maior frequência na primavera (0,728). Para a ocorrência da mTA, na janela sazonal do outono, a frequência foi de 0,133. Para a camada mais úmida da massa Tropical Atlântica (mTA1), foram observados controles climáticos mais extensos durante o outono (com frequência de 0,254) e inverno (com frequência de 0,243). Os tipos de tempo úmidos, associados a sistemas sinóticos individualizados, apresentaram frequências sazonais inferiores a 10%, com maior atuação da ZCAS na primavera (0,06) e da ZCIT no outono (0,044).

As classes semissecas 5 e 6 apresentaram similaridades quanto a atuação da mTAC durante o inverno e primavera, com frequência respectiva de 0,892 e 0,848 (no inverno) e de 0,915 e 0,570 (na primavera). Para ambas as classes a ocorrência predominante de tipos de tempo quentes, secos e estáveis durante o inverno e a primavera foi estatisticamente determinante para a classificação climática. No entanto, ressalta-se que para o tipo climático 6 houve frequência significativa da mTC no inverno (0,102). No tipo climático 5 foram observados menores valores percentuais para os sistemas sinóticos úmidos, quando comparada a classe 6. No que se refere ao clima tropical semisseco do NE central (tipo 5), foi observada, entre os tipos de tempo úmidos, uma maior importância para a atuação da mTA no outono (0,096), da ZCIT no outono (0,094) e verão (0,071). Para a classe 6 foi observada, entre os tipos de tempo úmidos, uma maior importância para a atuação da mEC no verão (0,160) e ZCAS na primavera (0,149). Concluiu-se que o clima semisseco do NE ocidental (tipo 6) possui sua dinâmica influenciada, em maior grau, pelo regime de monções da América do Sul.

As regiões climáticas semiúmidas possuem distinções associadas aos fatores geográficos continentalidade e maritimidade. Enquanto os tipos climáticos 7 e 9 apresentaram maior importância estatística, para a caracterização climática, de sistemas sinóticos de origem oceânica, o tipo 8 apresentou influência predominante, durante o verão e o inverno, da atuação de massas de origem continental.

A região climática 7, correspondente ao clima tropical semiúmido do NE oriental, esteve relacionada à atuação da mTA durante o outono (com frequência de 0,447) e da mTA1 durante o verão (0,129), outono (0,439) e inverno (0,485). Durante o inverno, o grupo climático subúmido do NE ocidental (tipo 8) foi caracterizado pela atuação da mTAC (0,853) e da mTC (0,136), ambas as massas de ar, relacionadas a condições de tempo secos, quentes e estáveis.

Em relação aos tipos de tempo úmidos e instáveis, destacaram-se para a classe climática 8, as frequências de atuação da mEC no verão (0,714), ZCIT no outono (0,305), ZCIT no verão (0,100) e ZCAS na primavera (0,169). O tipo climático 9 foi caracterizado pela alta frequência da mTA durante o outono (0,501), pela predominância do tempo quente e seco no inverno (0,817) e na primavera, em virtude da atuação da mTAC (0,838), e por condições atmosféricas quentes e úmidas associadas ao desenvolvimento de instabilidade convectiva decorrentes da atuação da ZCIT no verão (0,386) e outono (0,321).

Tabela 13 - Frequências sazonais de atuação das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados, estatisticamente mais significativos para o agrupamento dos tipos climáticos do Nordeste Brasileiro.

TIPOS CLIMÁTICOS	mTA (o)	mTA1 (v)	mTA1 (o)	mTA1 (i)	mTA1 (p)	mTAC (i)	mTAC (p)	mTC (i)	mEC (v)	ZCIT (v)	ZCIT (o)	ZCAS (p)
1	0,090	0,261	0,141	0,248	0,170	0,0	0,0	0,0	0,0	0,588	0,652	0,0
2	0,036	0,776	0,964	0,902	0,825	0,0	0,0	0,0	0,0	0,054	0,0	0,016
3	0,0	0,721	1,0	0,941	0,779	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,221
4	0,133	0,059	0,254	0,243	0,037	0,155	0,728	0,0	0,012	0,011	0,044	0,06
5	0,096	0,007	0,034	0,012	0,0	0,892	0,915	0,012	0,039	0,071	0,094	0,005
6	0,045	0,0	0,014	0,0	0,0	0,848	0,570	0,102	0,160	0,031	0,019	0,149
7	0,447	0,129	0,439	0,485	0,072	0,012	0,306	0,0	0,0	0,009	0,01	0,008
8	0,087	0,0	0,0	0,0	0,0	0,853	0,0	0,136	0,714	0,100	0,305	0,169
9	0,501	0,015	0,014	0,011	0,039	0,817	0,838	0,017	0,076	0,386	0,321	0,0

Legenda: tabela 1-clima tropical úmido do NE setentrional, 2-climatropical úmido do NE oriental, 3- clima tropical úmido do NE meridional, 4 –clima tropical semisseco do NE oriental, 5-clima tropical semisseco do NE central, 6-clima tropical semisseco do NE ocidental, 7-clima tropical semiúmido do NE oriental, 8-clima tropical semiúmido do NE ocidental e 9- clima tropical semiúmido do NE setentrional. mTA=massa Tropical Atlântica, mTA1=massa Tropical Atlântica (úmida e instável), mTAC=massa Tropical Atlântica Continentalizada, mTA/mTAC=condição tensaitória entre a mTA e mTAC, mEC=massa Equatorial Continental, mTC=massa Tropical Continental, ZCIT=Zona de Convergência Intertropical e ZCAS=Zona de Convergência do Atlântico Sul. Organizado pelo autor.

A análise sazonal da atuação das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados, a partir da Figura 17, revelou distinções quanto a frequência anual de participação de tipos de tempo secos, úmidos com instabilidade advectiva e úmidos com instabilidade convectiva, na caracterização dos respectivos tipos climáticos.

O verão foi a estação do ano com maior participação dos sistemas sinóticos (ZCIT e ZCAS) e massa de ar (mEC) associados ao desenvolvimento de instabilidade convectiva. Durante o verão, os tipos climáticos úmidos e semiúmidos setentrionais (1 e 9), apresentaram maior participação da ZCIT na composição dos tipos de tempo. O tipo climático 8 (tropical semiúmido do NE ocidental) esteve predominantemente influenciado pela instabilidade atmosférica relacionada com a atuação da mEC. Os tipos de tempo relacionado à umidade advectiva foram predominantes para os tipos climáticos 2 e 3, como consequência da atuação da mTA e mTA1. Tipos de tempo secos e de transição estiveram relacionados aos controles de

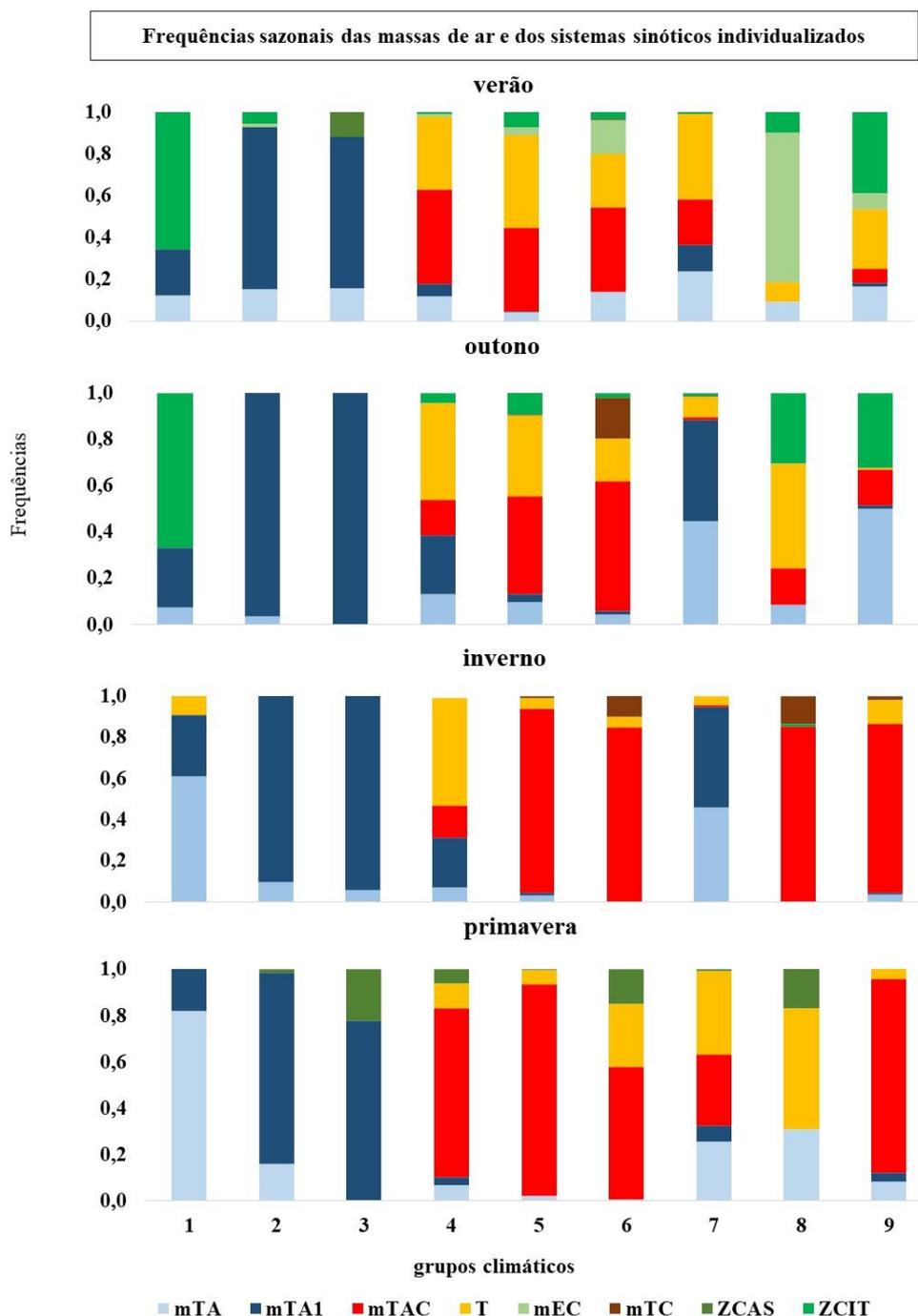
tempo da mTAC e T principalmente nas localidades inseridas nas categorias climáticas semissecas (tipos climáticos 4, 5 e 6) e semiúmida (tipo climático 7). A dinâmica climática de verão das massas de ar esteve, portanto, relacionada ao sistema de monção da América do Sul, ao posicionamento da ZCIT e influência da ASAS sobre o centro leste do NEB.

No outono observou-se, em relação ao verão, uma retração dos sistemas sinóticos associados à instabilidade convectiva, e uma expansão dos tipos de tempo produzidos pelas variantes da massa Tropical Atlântica, especialmente nas categorias climáticas subúmidas. A circulação atmosférica de outono foi marcada por uma diminuição no gradiente térmico entre o oceano Atlântico e o continente, que acabou por enfraquecer o transporte de umidade da Amazônia para o NE ocidental, resultando na redução da frequência de atuação da mEC. Nessa estação ainda foi observada uma expressiva participação da ZCIT nos grupos climáticos setentrionais do NEB, como consequência do posicionamento climatológico da convecção intertropical durante o período (MOLION e BERNARDO, 2002; HASTENRATH, 2012). As massas de ar secas estiveram atuantes de maneira mais intensa sobre o centro leste da região, com maiores frequências registradas nos domínios climáticos semissecos do NE central e ocidental.

O inverno foi a estação de máxima atuação das massas de ar relacionadas à expansão do ASAS. Ao longo do NE oriental, foram verificadas as máximas atuações da mTA1 entre as classes úmidas e semiúmidas do NE oriental. Para o tipo climático úmido do NE setentrional, a predominância da mTA (úmida e estável), durante o inverno, sugere uma redução das chuvas. A categoria do clima tropical semissecos do NE oriental (tipo 4) foi a única que apresentou maior participação do tipo de tempo transitório (T), pois as estações meteorológicas desse domínio climático localizam-se, durante o inverno, em uma faixa de transição entre as variantes úmidas e secas da massa Tropical Atlântica. A mTAC e mTC estiveram atuantes de modo frequente nos domínios climáticos semissecos e semiúmidos do centro oeste do NEB.

A mTAC e os tipos de tempo transitórios predominaram ao longo da primavera nos domínios climáticos semissecos e semiúmidos. A umidade advectiva associada às variantes úmidas da massa Tropical Atlântica permaneceram, assim como nas demais janelas sazonais, com elevada frequência nos domínios climáticos úmidos do NE oriental. A instabilidade convectiva esteve restrita às baixas frequências de intrusão da ZCAS nos grupos climáticos localizados no centro sul da região.

Figura 17 - Frequência sazonal média das massas de ar e dos sistemas sinóticos individualizados associados aos tipos climáticos do NEB para as janelas sazonais entre 1980 e 2017.



Legenda: 1-clima tropical úmido do NE setentrional, 2-climatropical úmido do NE oriental, 3- clima tropical úmido do NE meridional, 4 –clima tropical semisseco do NE oriental, 5-clima tropical semisseco do NE central, 6-clima tropical semisseco do NE ocidental, 7-clima tropical semiúmido do NE oriental, 8-clima tropical semiúmido do NE ocidental e 9- clima tropical semiúmido do NE setentrional. mTA = massa Tropical Atlântica, mTA1=massa Tropical Atlântica (úmida e instável), mTAC=massa Tropical Atlântica Continentalizada, T=Tiposde tempo transitórios, mEC=massa Equatorial Continental, mTC=massa Tropical Continental, ZCAS=Zona de Convergência do Atlântico Sul e ZCIT=Zona de Convergência Intertropical. Organizado pelo autor.

### **5.2.6 Mapeamento da frequência de atuação das massas de ar e dos sistemas sinóticos individualizados**

Como proposta complementar de análise, foi feita a espacialização da frequência de atuação das massas de ar e dos sistemas sinóticos individualizados, estatisticamente mais significativos para a classificação dos climas. Durante o verão, outono tipos de tempo úmidos foram determinantes para o agrupamento climático, enquanto que no inverno e na primavera as frequências de atuação das massas secas tiveram mais força na diferenciação dos tipos de climas.

A mTA1, durante o verão (Figura 18 A), teve atuação concentrada na faixa litorânea oriental do NEB, caracterizando tipos de tempo úmidos com desenvolvimento de instabilidade, predominantemente, advectiva. Essa massa de ar esteve relacionada principalmente, durante o verão, aos tipos climáticos úmidos 2 e 3. Frequências de atuação iguais ou superiores a 0,484 foram registradas entre o litoral norte do estado de Alagoas e o litoral sul da Paraíba, e ao longo de faixas isoladas no litoral do estado da Bahia. Frequências entre 0,322 e 0,483 predominaram em toda extensão do litoral oriental do NEB, em virtude do transporte de umidade em baixos níveis pelos ventos alísios associados a essa massa de ar. A interação entre os ventos alísios úmidos, o relevo, o formato da linha de costa e a distância em relação ao oceano explicam a predominância de tempo úmido associado à atuação da mTA1 durante o verão.

Estudos realizados por Teixeira (2008) e Diniz e Pereira (2015) associaram a geometria do litoral do NEB a variações de pluviometria ao longo da costa. Segundo esses autores, geometrias convexas favoreceriam a convergência das brisas terrestres com os ventos alísios ao longo das linhas de costa durante as primeiras horas da manhã, enquanto que trechos côncavos da linha de costa favoreceriam a convergência entre as brisas e os ventos alísios sobre o oceano. Além das variações de pluviosidade média observada em estudos anteriores, foi observado no presente estudo uma maior frequência de tipos de tempo úmidos (associados a mTA1) nos trechos convexos do litoral durante o verão.

O relevo também apresenta relação com a predominância de tipos de úmidos à leste das escarpas de planaltos ao longo do litoral. As áreas onde as escarpas localizam-se próximas à costa concentram as maiores frequências de atuação da mTA1, a exemplo da costa pernambucana (com influência das encostas do Planalto da Borborema), da costa sul baiana (com influência das escarpas do Planalto Sul Baiano) e da costa cearense (com influência do maciço de Baturité). Em estudo realizado no estado de Pernambuco, Wanderley et al. (2019) verificaram, a partir da análise de transectos, que paisagens úmidas associadas a Florestas

Ombrófilas ocorrem em até 40 e 50 Km de distância da linha de costa, nos piemontes do Planalto da Borborema. Essa constatação reforça que a predominância de tipos de tempo úmidos, relacionados a mTA1, é influenciada pela topografia local.

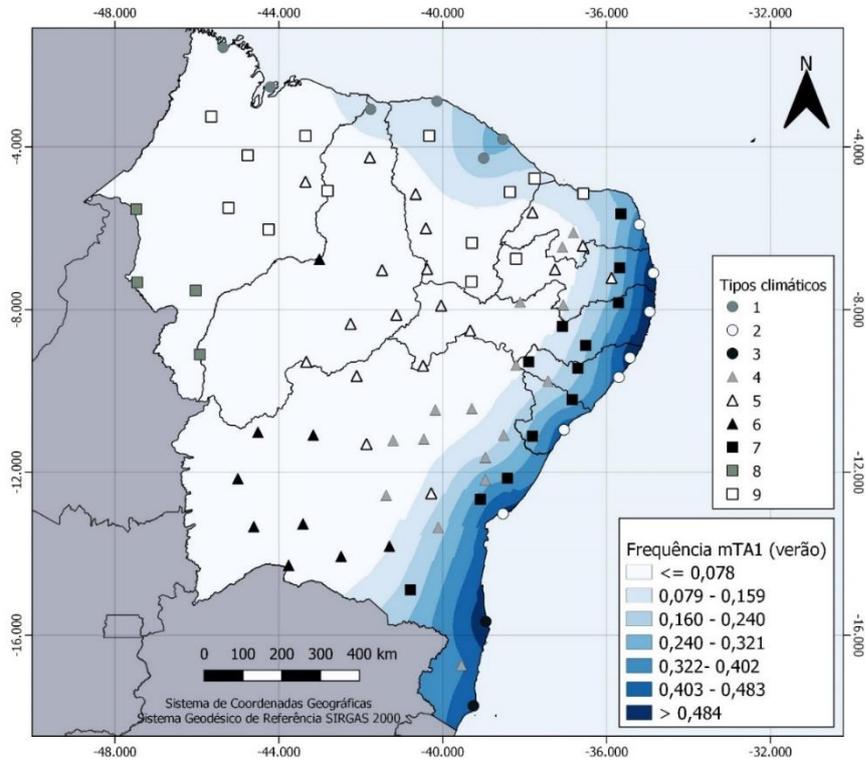
Outro tipo de tempo úmido de verão, determinante para o agrupamento climático, foi explicado pela atuação da mEC. A Figura 18 (B) apresentou as frequências de atuação desta massa de ar ao longo da estação. Observou-se uma predominância de tipos de tempo úmidos, relacionados ao desenvolvimento de instabilidade convectiva não alinhada, no sul do Maranhão e do Piauí e oeste da Bahia. A expansão da massa úmida com gênese sobre a floresta Amazônica atuou com frequência igual ou superior a 0,202, aumentando em direção ao oeste, com frequência máxima igual ou superior a 0,608 no sul do Maranhão. A máxima atuação da mEC esteve relacionada aos tipos climáticos 8 (tropical semiúmido do NE ocidental) e 4 (tropical semissecado do NE oriental) durante o verão.

A atuação de verão da ZCIT foi apresentada na Figura 18 (C), com frequências máximas observadas sobre o Nordeste setentrional. O tipo de tempo caracterizado por intensa instabilidade convectiva da zona de convergência dos alísios apresentou frequência igual ou maior que 0,244 entre o extremo norte do Rio Grande do Norte e o centro norte do Maranhão. A frequência máxima (igual ou superior a 0,745) foi registrada no noroeste do Maranhão. Na estação de verão, a ZCIT influenciou as características atmosféricas de maneira mais intensa para os tipos climáticos 1 (tropical úmido do NE setentrional) e 9 (tropical semiúmido do NE setentrional).

Figura 18 - Frequências médias de atuação na janela sazonal de verão da mTA1 (A), mEC (B) e ZCIT (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017)

continua

(A)



(B)

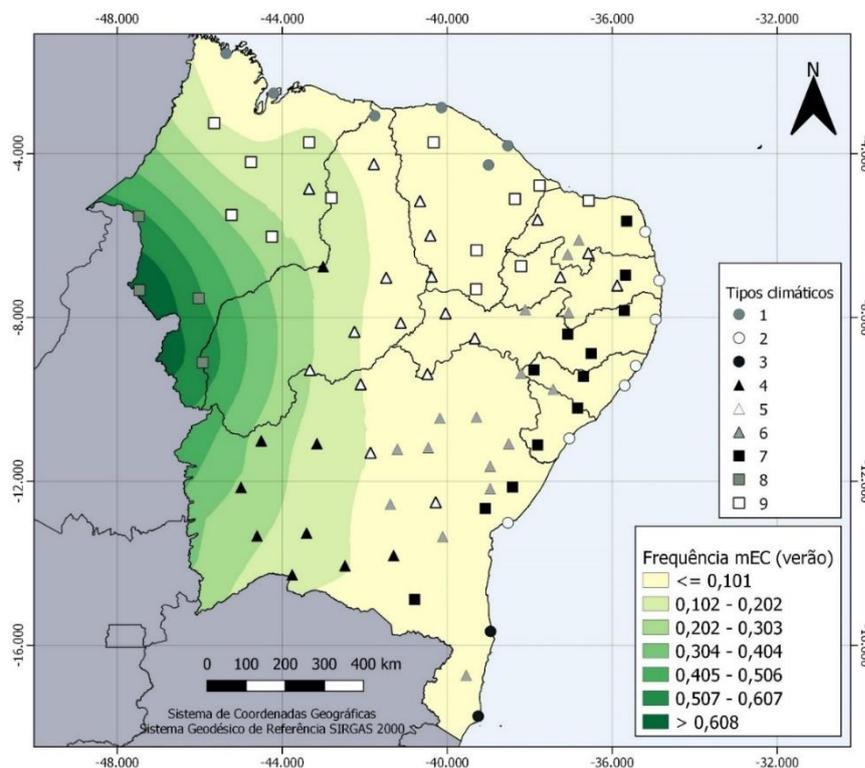
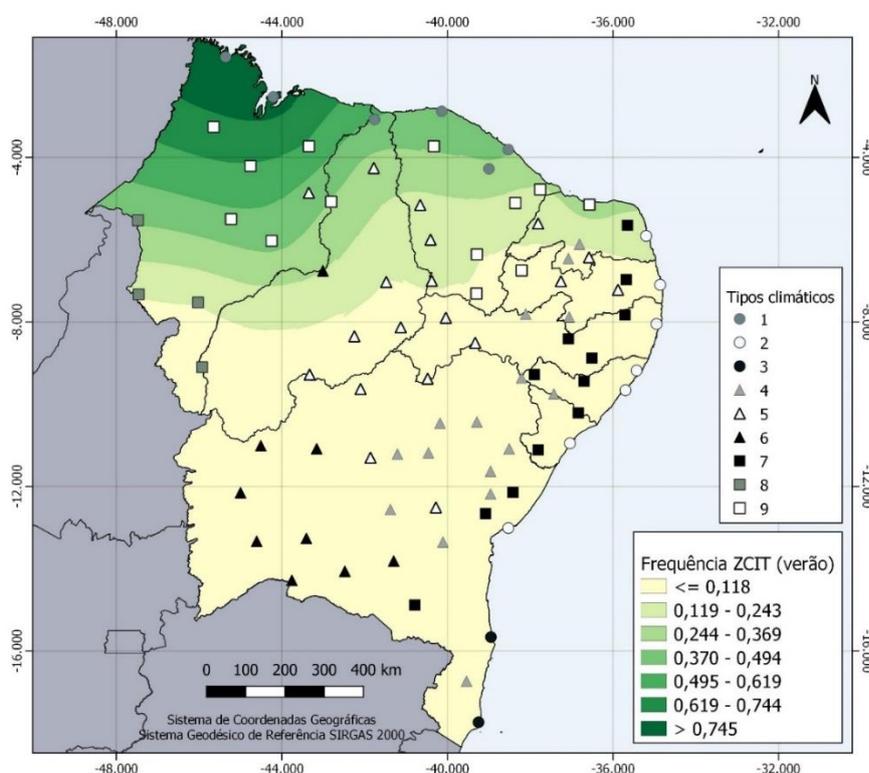


Figura 18 - Frequências médias de atuação na janela sazonal de verão da mTA1 (A), mEC (B) e ZCIT (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017)

conclusão

(C)



Legenda: 1- clima tropical úmido do NE setentrional, 2-clima tropical úmido do NE oriental, 3-clima tropical úmido do NE meridional, 4-clima tropical semisséco do NE oriental, 5-clima tropical semisséco do NE central, 6-clima tropical semisséco do NE ocidental, 7-clima tropical semisséco do NE oriental, 8-clima tropical do NE ocidental e 9-clima tropical semiúmido do NE setentrional. Fonte dos dados: IBGE e INMET.

Organizado pelo autor.

Durante o outono foi registrada mais frequentemente a atuação da mTA nas faixas centro leste e centro norte do NEB, configurando um tipo de tempo úmido estável ou com fraca instabilidade advectiva. A Figura 19 (A) apresentou as frequências da mTA, observou-se uma maior recorrência dessa massa de ar sobre as áreas de tipos úmidos e semiúmidos. A menor frequência de atuação esteve relacionada ao clima tropical semisséco do Nordeste ocidental, no oeste da Bahia (menor ou igual a 0,056). As maiores frequências de atuação da mTA (iguais ou superiores a 0,271) ocorreram nas áreas de tipo climático 9 (clima tropical semiúmido do NE setentrional) localizadas no centro norte do estado do Maranhão e entre os estados do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Para as estações do tipo climático 7, localizadas entre os estados de Pernambuco e Alagoas, também foi verificada uma elevada frequência relativa de atuação da mTA durante o outono.

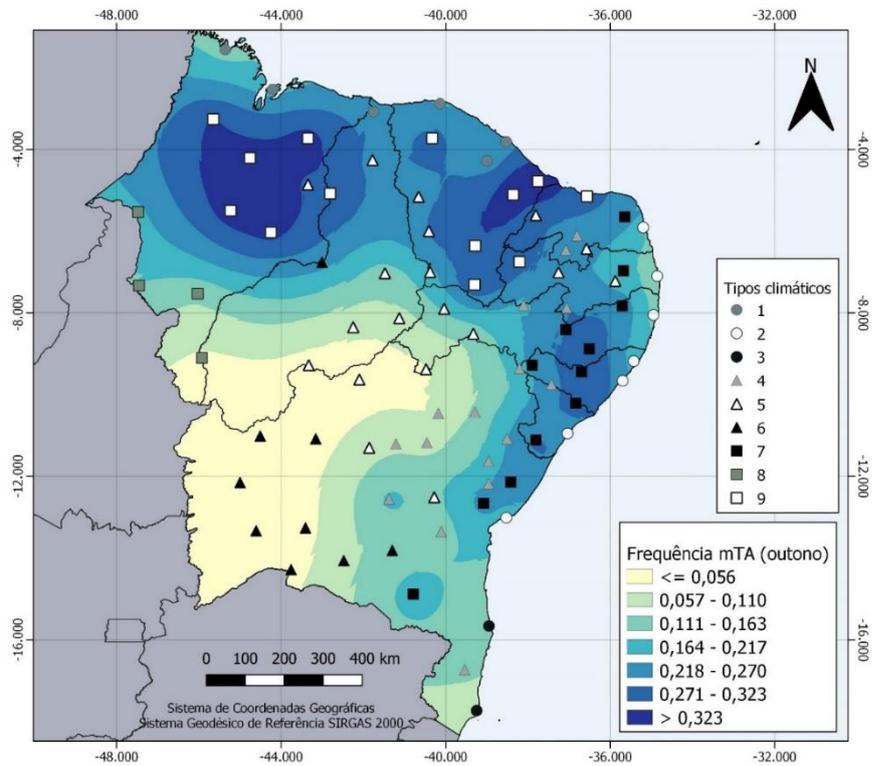
A atuação da mTA1 no outono, apresentada na Figura 19 (B), foi marcada pela expansão do tipo de tempo úmido em direção ao oeste, com intervalos de frequência superiores aqueles observados no verão. Os fatores geográficos associados a essa massa de ar favoreceram um padrão espacial de ocorrência semelhante ao observado na estação anterior. Destacou-se o avanço dessa massa de ar sobre o centro leste do estado da Bahia e sobre o interior dos demais estados do leste do NEB. Nessa estação do ano, tornaram-se mais frequentes as perturbações ondulatórias dos alísios de leste e sudeste relacionados à mTA1 (MOLION e BERNARDO, 2002), facilitando o transporte de umidade em baixos níveis para áreas mais distantes da costa leste. As máximas frequências de atuação da camada úmida da massa Tropical Atlântica (superiores a 0,620) foram registradas entre o litoral do estado da Paraíba e litoral norte de Alagoas, e no litoral sul do estado da Bahia.

O posicionamento da ZCIT favoreceu um aumento da frequência de atuação desse sistema atmosférico (Figura 19 C) sobre latitudes mais austrais durante a janela sazonal de outono. Entre o oeste do estado da Paraíba e o Maranhão as frequências de atuação da ZCIT foram iguais ou superiores a 0,101. As máximas atuações estiveram concentradas entre norte dos estados do Ceará, Piauí e Maranhão (com frequência igual ou superior a 0,607). Esses resultados corroboraram os estudos clássicos sobre a atuação da ZCIT no NEB de Hastenrath e Heller (1977), Hastenrath (1991) e Molion e Bernardo (2002), os quais delimitaram a estação de outono como o período de máxima atuação desse sistema atmosférico sobre o Nordeste setentrional.

Figura 19 - Frequências médias de atuação na janela sazonal de outono da mTA (A), mTA1 (B) e ZCIT (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017).

continua

(A)



(B)

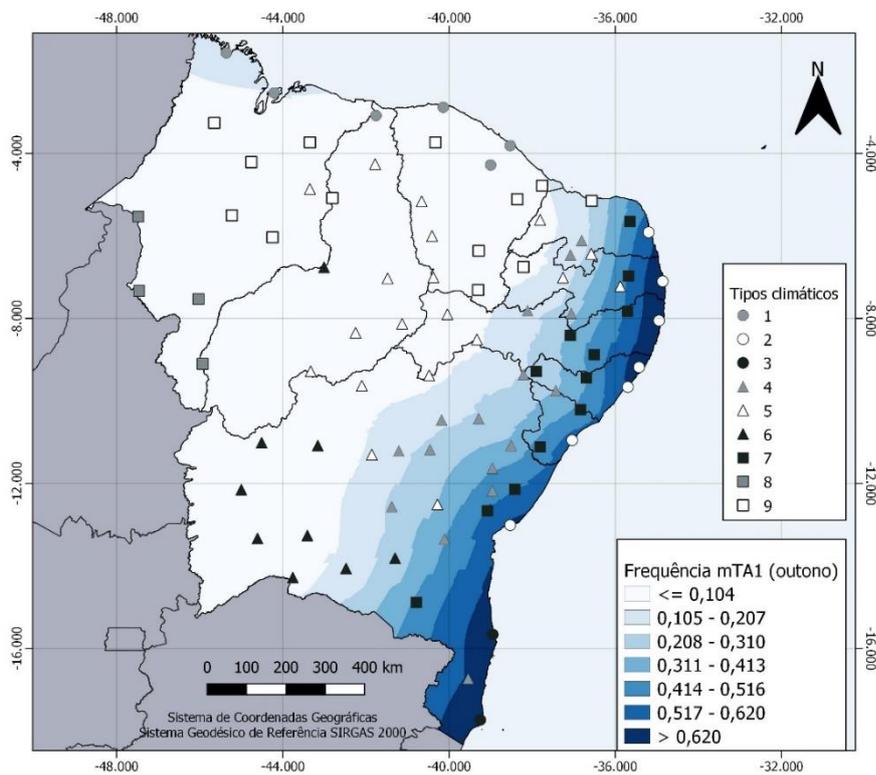
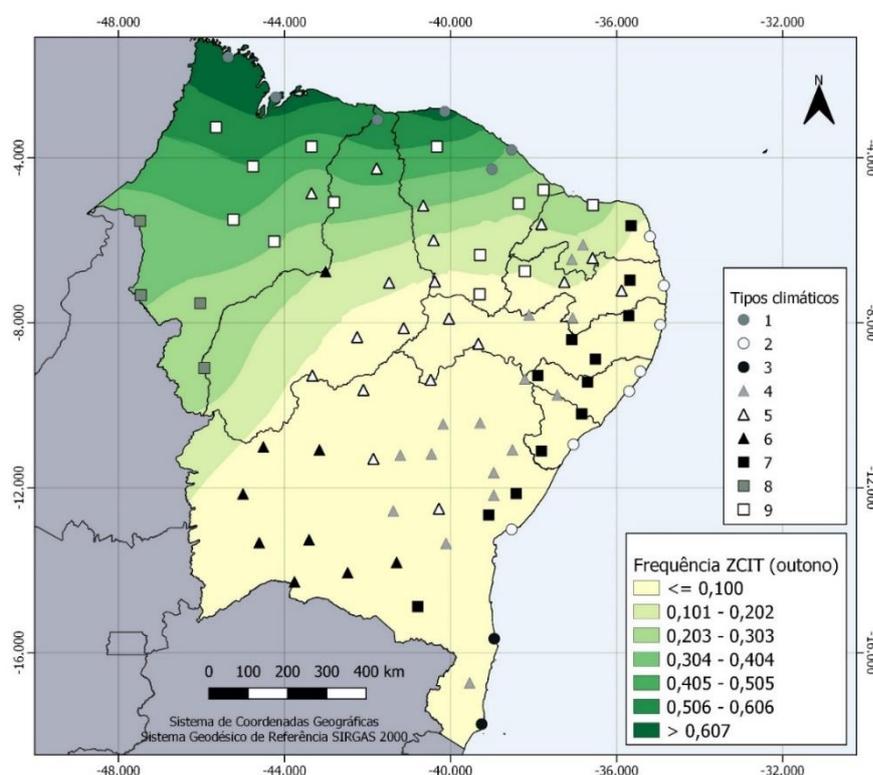


Figura 19 - Frequências médias de atuação na janela sazonal de outono da mTA (A), mTA1 (B) e ZCIT (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017).

conclusão

(C)



Legenda: 1- clima tropical úmido do NE setentrional, 2-clima tropical úmido do NE oriental, 3-clima tropical úmido do NE meridional, 4-clima tropical semissecos do NE oriental, 5-clima tropical semissecos do NE central, 6-clima tropical semissecos do NE ocidental, 7-clima tropical semissecos do NE oriental, 8-clima tropical do NE ocidental e 9-clima tropical semiúmido do NE setentrional. Fonte dos dados: IBGE e INMET.

Organizado pelo autor.

A janela sazonal de inverno foi marcada uma ampla atuação da mTAC sobre o interior do NEB. A Figura 20 (A) apresentou frequências de atuação dessa massa de ar sobre áreas de climas tropicais semissecos e semiúmidos. Para a maioria das estações dos tipos climáticos 4, 5, 6, 8 e 9 as frequências de atuação da mTAC foram iguais ou superiores a 0,421. Tipos de tempo secos e estáveis, com ventos de leste ou sudeste caracterizaram maior parte das condições atmosféricas durante o inverno no interior da região. A faixa leste da região apresentou a menor frequência de atuação da mTAC durante o inverno (igual ou inferior a 0,14). Os padrões espaciais das frequências de atuação da mTAC, sobre o NEB, podem ser explicados pela interação entre características verticais dessa massa de ar com o relevo regional e com a superfície continental. As maiores frequências de atuação foram observadas à sotavento das principais proeminências topográficas regionais, o Planalto da Borborema e a Chapada Diamantina. Esse padrão se explica pelo acoplamento da inversão psicotérmica ao efeito

topográfico nas áreas de sombra de chuva (NIMER, 1979; MOLION e BERNARDO, 2002; REBOITA et al. 2016). A maior frequência de tipos de tempo seco (relacionados à mTAC) na faixa litorânea entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte (0,421 a 0,560), quando comparada às demais áreas costeiras da região, está associada ao efeito das brisas em interação com a geometria do litoral, que favorecem uma maior convergência de umidade sobre o oceano, ampliando o alcance de tempo seco na faixa litorânea (DINIZ e PEREIRA, 2015).

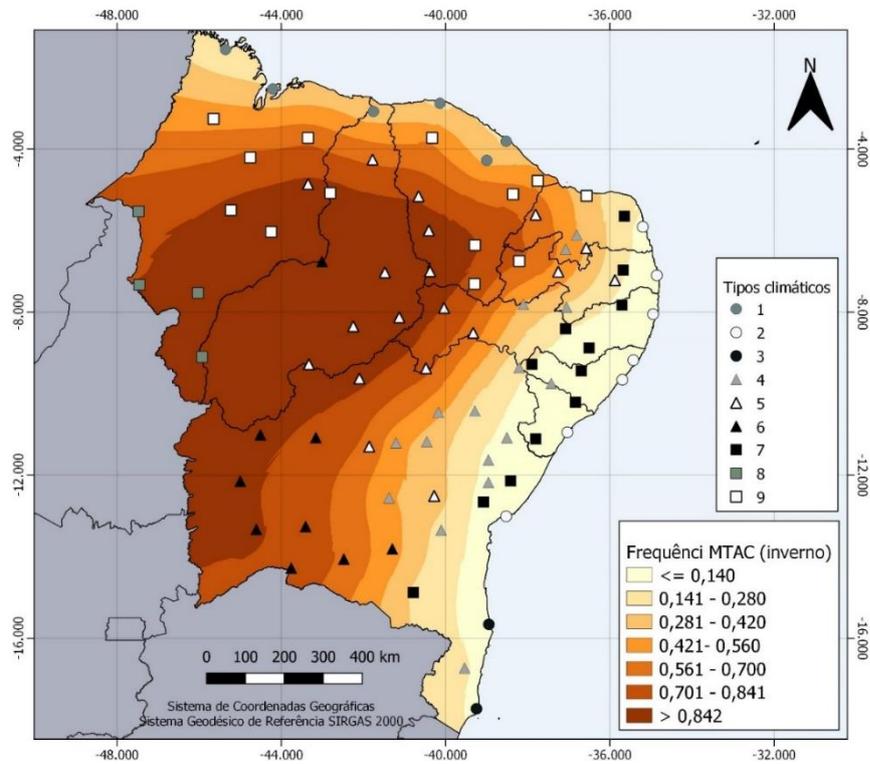
O segundo tipo de tempo de inverno estatisticamente determinante para a classificação dos climas esteve associado às frequências de atuação da mTC (Figura 20 B). A influência do tempo quente e seco, relacionado a uma elevada amplitude térmica diária, ventos de oeste e baixa umidade relativa do ar, ocorreu com maior recorrência para as estações dos tipos climáticos 6 (climas tropicais semissecos do NE ocidental) e 8 (climas tropicais semiúmidos do NE ocidental) com frequência igual ou superior a 0,102. As áreas localizadas no oeste do NEB tenderam a apresentar maior influência dessa massa de ar de origem continental. Ressalta-se que esses grupos climáticos apresentam a maior frequência de atuação de massas continentais (úmidas no verão e secas no inverno), em decorrência da distância em relação ao oceano e sazonalidade produzida pelo regime de monções da América do Sul.

No inverno, a ocorrência dos tipos de tempo úmidos esteve concentrada nos domínios do tipo climático 2 (tropical úmido do NE oriental), com frequência superior a 0,602 (Figura 20 C). A mTA1, como consequência da expansão do ASAS e fortalecimento dos alísios, permaneceu influenciando as condições atmosféricas no centro leste do NEB. Nessa estação do ano, as perturbações ondulatórias permaneceram ativas, contribuindo com a ocorrências de tipos de tempo úmidos e instáveis na faixa leste da região.

Figura 20 - Frequência médias de atuação na janela sazonal de inverno da mTAC (A), mTC (B) e mTA1 (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017).

continua

(A)



(B)

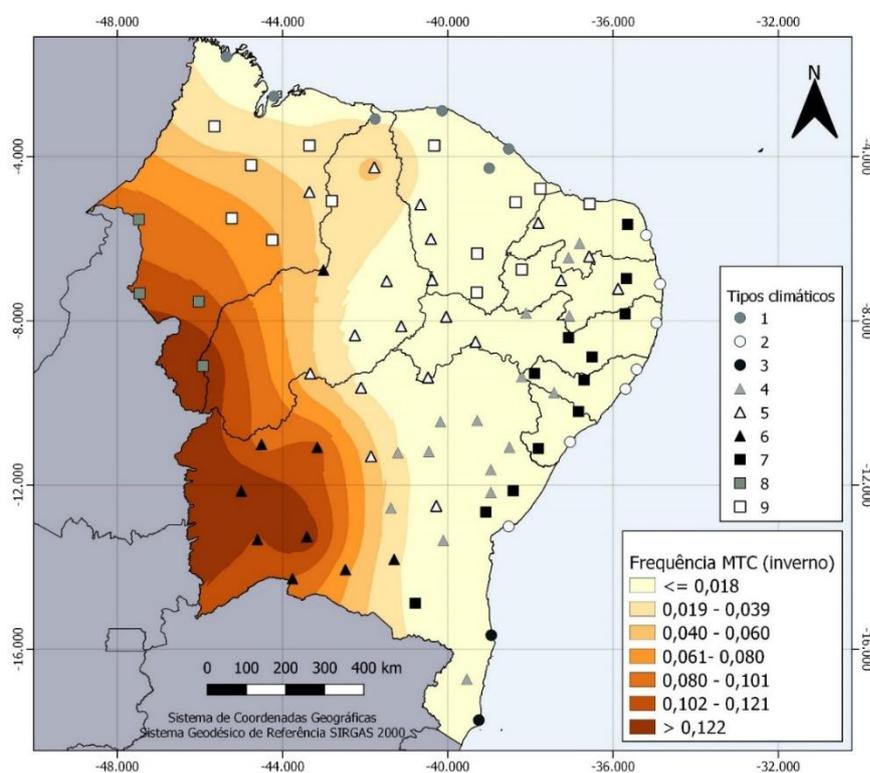
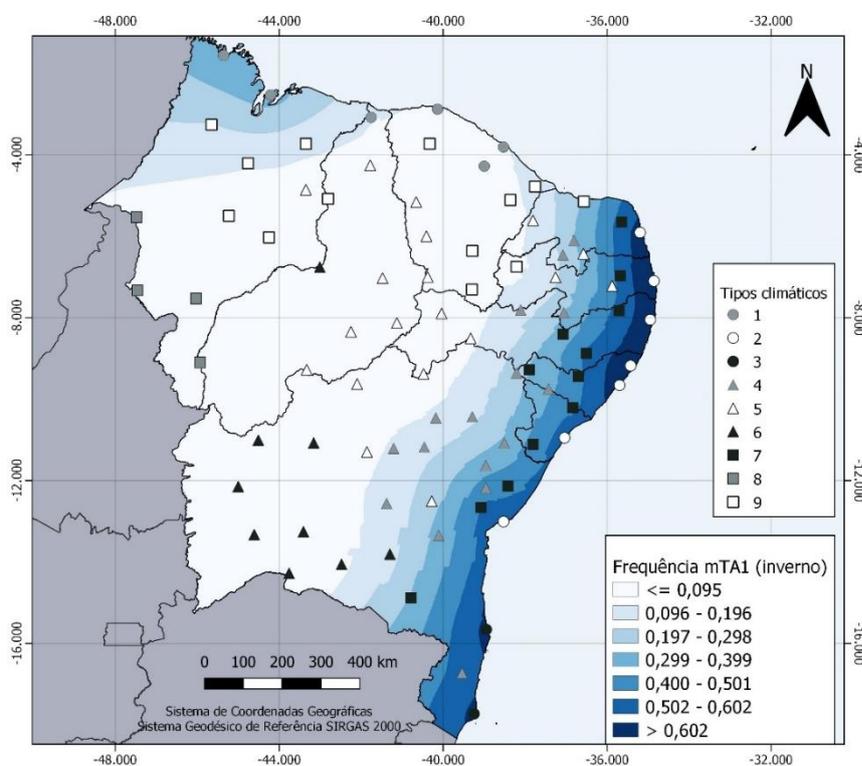


Figura 20 - Frequência médias de atuação na janela sazonal de inverno da mTAC (A), mTC (B) e mTA1 (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017).

conclusão

(C)



Legenda: 1- clima tropical úmido do NE setentrional, 2-clima tropical úmido do NE oriental, 3-clima tropical úmido do NE meridional, 4-clima tropical semisséco do NE oriental, 5-clima tropical semisséco do NE central, 6-clima tropical semisséco do NE ocidental, 7-clima tropical semisséco do NE oriental, 8-clima tropical do NE ocidental e 9-clima tropical semiúmido do NE setentrional. Fonte dos dados: IBGE e INMET.

Organizado pelo autor.

Em relação à atuação da mTAC na janela de primavera, houve uma redução da área sob influência dessa massa de ar, quando comparada à janela de inverno, e um deslocamento de núcleo de máxima ocorrência. As maiores frequências (superiores a 0,828) dos tipos de tempo secos relacionados aos ventos de leste foram observadas no centro leste do estado do Piauí, sul do Ceará e oeste da Paraíba e Pernambuco. Os tipos climáticos semissécos e o tipo climático semiúmido 9, como apresentado na Figura 21 (A), foram marcados pelas maiores ocorrências da mTAC. Essa configuração sinótica ocorreu como resposta ao fortalecimento da convergência de umidade entre o norte e sudeste do Brasil, a partir da primavera, e ao aumento da subsidência atmosférica nas áreas centrais e setentrionais do NEB.

A atuação da mTA1 durante a primavera, apresentada na Figura 21 (B), corresponde a menor abrangência sazonal média dessa massa de ar. A expansão dos tipos de tempo secos para o centro leste do NEB diminuiu o transporte de umidade em baixos níveis sobre a região. As

máximas frequências permanecem nas áreas côncavas ao longo do litoral leste, com valores máximos superiores a 0,417 nos domínios dos tipos climáticos 2 e 3.

O principal sistema atmosférico úmido que distinguiu os grupos climáticos de primavera foi a ZCAS, caracterizando tipos úmidos com desenvolvimento de instabilidade convectiva. Esse sistema sinótico individualizado apresentou maiores frequências as estações dos tipos climáticos 3 (clima tropical úmido do NE meridional), 6 (clima tropical semissecado do NE ocidental) e 8 (clima tropical subúmido do NE ocidental) com valores iguais ou superiores a 0,119 (Figura 21 C). Esse resultado reforçou que ZCAS possui atuação mais frequente no sul e oeste da região Nordeste do Brasil durante a primavera, e atuações esporádicas em áreas setentrionais.

Figura 21 - Frequências médias de atuação na janela sazonal de primavera de mTAC (A), mTA1 (B) e ZCAS (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017).

continua

(A)

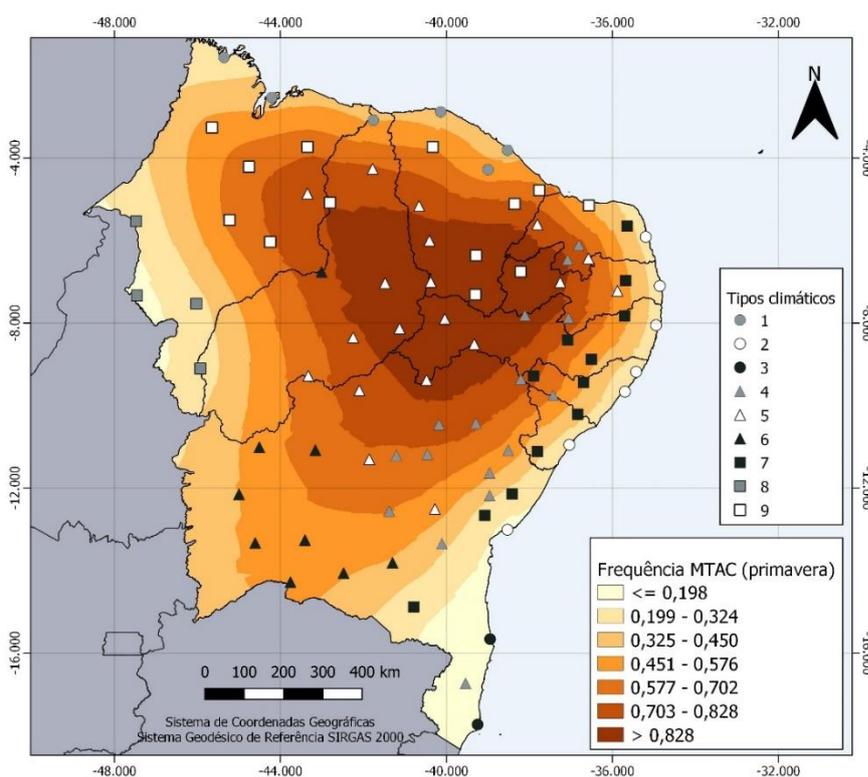
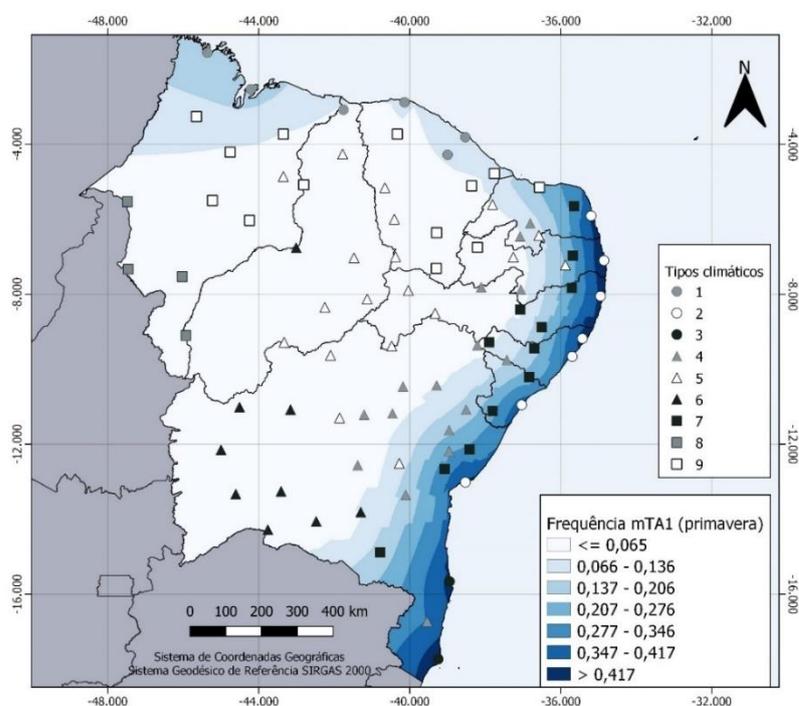


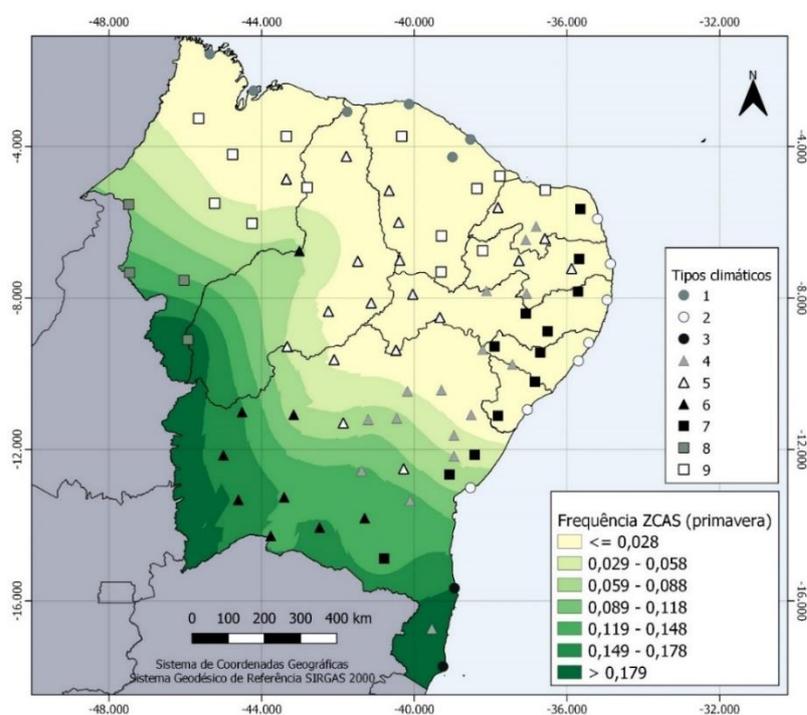
Figura 2119 - Frequências médias de atuação na janela sazonal de primavera de mTAC (A), mTA1 (B) e ZCAS (C) na Região Nordeste do Brasil (1980 - 2017).

conclusão

(B)



(C)

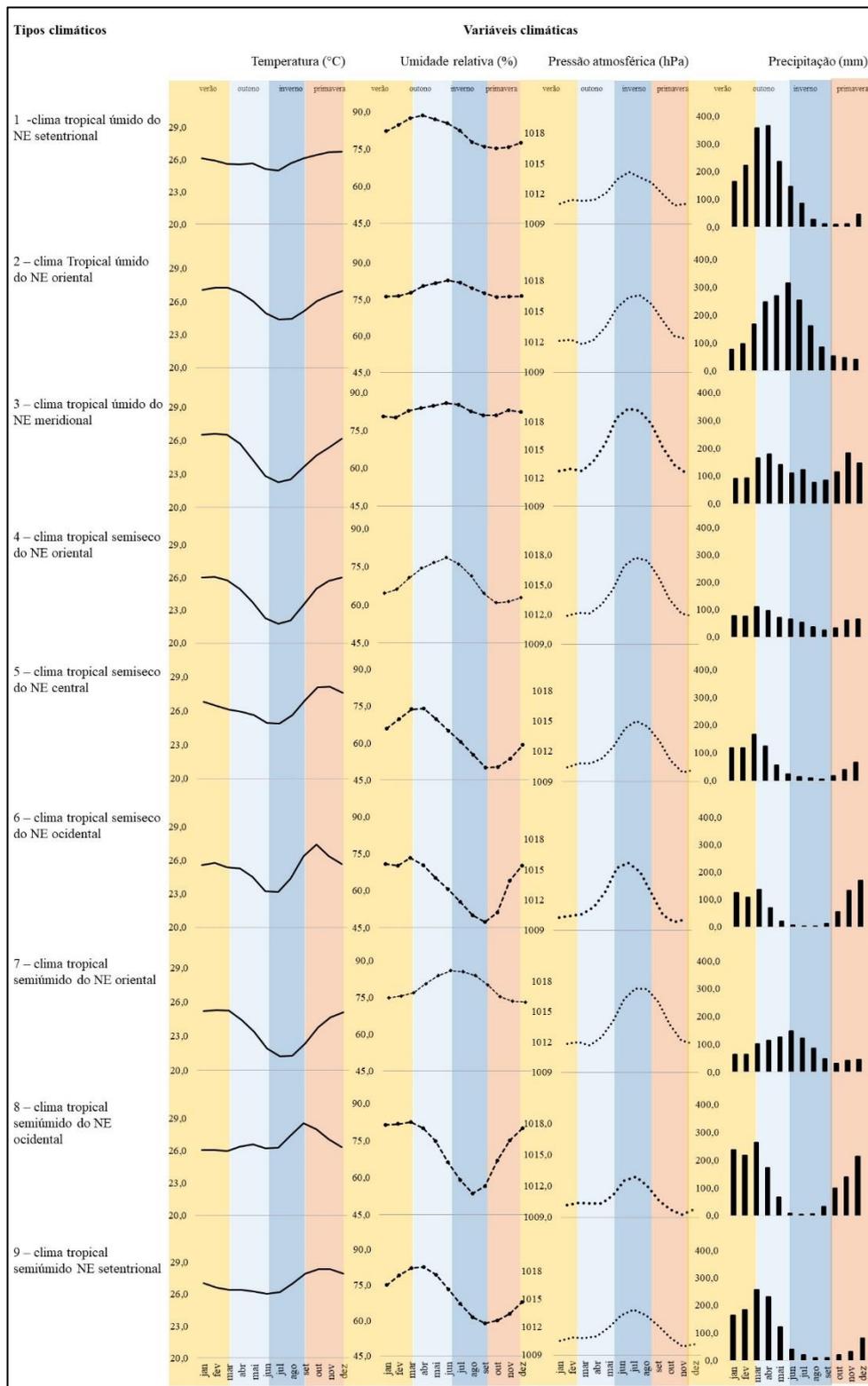


Legenda: 1- clima tropical úmido do NE setentrional, 2-clima tropical úmido do NE oriental, 3-clima tropical úmido do NE meridional, 4-clima tropical semisséco do NE oriental, 5-clima tropical semisséco do NE central, 6-clima tropical semisséco do NE ocidental, 7-clima tropical semisséco do NE oriental, 8-clima tropical do NE ocidental e 9-clima tropical semiúmido do NE setentrional. Fonte dos dados: IBGE e INMET. Organizado pelo autor.

### **5.2.7 Caracterização sazonal das variáveis meteorológicas estáticas para os tipos climáticos do Nordeste brasileiro**

A Figura 22 apresentou as médias mensais e sazonais de temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e precipitação. Constatou-se a existência de uma expressiva variação sazonal dos parâmetros meteorológicos investigados, consonante como a atuação dos principais sistemas sinóticos individualizados e massas de ar.

Figura 22 - Médias mensais de temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e precipitação para as regiões climáticas do Nordeste Brasileiro entre 1980 e 2017.



Organizado pelo autor.

No que se refere aos valores de temperaturas médias mensais, observou-se a predominância de baixas amplitudes térmicas anuais para os tipos climáticos do NEB. Os tipos climáticos 1, 8 e 9 apresentaram curvas térmicas similares. A atuação de massas de ar sistemas sinóticos individualizados bastante semelhantes ao longo do ano foram responsáveis pela similaridade entre as curvas térmicas. Para os tipos climáticos 1 e 9, a temperatura média durante o verão, outono e inverno pouco variou (com valores entre 25 e 26°C). Na primavera, correspondente ao auge do período seco, foram verificados os mais elevados valores médios para os tipos climáticos 8 e 9 (28°C durante os meses de setembro, outubro e novembro). A discrepância de até 2,5°C entre os valores médios dos três tipos climáticos, observada na primavera, é explicada pela maior frequência atuação da mTAC durante o inverno e a primavera, que caracteriza tipos de tempo com elevadas temperaturas máximas nas estações meteorológicas pertencentes aos grupos 8 e 9.

As curvas de temperaturas dos climas tropicais do NE oriental (tipos 2, 3, 4 e 7) apresentaram variações similares ao longo dos meses. Para essas regiões climáticas, a forte influência da mTA é o principal fator de caracterização das variações térmicas sazonais. Os climas tropicais úmidos do NE oriental (tipo 2) e do NE meridional (tipo 3) apresentaram temperaturas mais elevadas no final do verão e início do outono, durante o mês de março, com valores compreendidos no intervalo entre 26 e 27°C. As temperaturas mínimas ocorreram nos meses de julho e agosto, com valores entre 22 e 24°C. Para os climas tropical semiúmido (tipo 7) e tropical semiseco do NE oriental a amplitude térmica anual foi de 4,0°C. Os valores máximos de temperatura foram registrados durante o mês de março (compreendidos entre 25 – 26 °C) e os mínimos foram observados durante o mês de julho (com valor de 21°C).

As temperaturas médias mensais para os climas semissecos centrais e ocidentais foram elevadas ao longo de todo o ano. Os máximos valores para esses domínios climáticos foram registrados durante a primavera, no auge do período seco. Foram registradas amplitudes térmicas anuais variando entre 3,3 a 4,2 °C. O predomínio do controle climático da mTAC na maior parte do ano caracterizou os tipos de tempo quentes para essas regiões climáticas.

O comportamento da umidade relativa do ar refletiu a sazonalidade dos sistemas sinóticos típicos dos domínios climáticos. Para as categorias úmidas (1, 2 e 3), localizadas ao longo do litoral oriental, setentrional e meridional, houve pouca variação de umidade relativa do ar, com valores elevados ao longo de todo o ano. A localização dessas estações meteorológicas litorâneas favoreceu a preservação da umidade oceânica em baixos níveis, considerando a predominante atuação das variantes úmidas da massa Tropical Atlântica. Valores máximos de umidade relativa média (80 a 90%) foram observados entre o outono e

inverno para as classes climáticas 1 e 2, em resposta ao maior transporte de umidade para o litoral do NEB a partir do fortalecimento do ASAS. Para o domínio úmido setentrional, os máximos valores médios entre o verão e o outono refletem a atuação climatológica da ZCIT durante essas estações do ano. O domínio subúmido setentrional apresenta similaridade da curva de umidade com o tipo úmido1. Todavia, as variações dos valores são maiores em virtude da presença da mTAC no período seco.

Os climas tropicais semissecos e semiúmido do NE oriental apresentaram curvas de valores de umidade relativa do ar similares. Nesses tipos climáticos a sazonalidade das massas de ar é semelhante, pois ambos são caracterizados pela influência de variantes úmidas da mTA durante o outono e inverno. Na primavera e verão predominaram condições atmosféricas estáveis relacionadas a tipos de tempo produzidos pela mTAC e pela transição entre as componentes secas e úmidas da mTA. Para a categoria semiúmida os valores médios variam ao longo do ano de 73,1% (em dezembro) a 86% (em junho), e para o grupo semiseco o intervalo de variação ocorre de 60,9% (em outubro) a 78,7% (em junho).

Para os domínios semissecos do NE central (tipo 5) e ocidental (tipo 6) foram verificadas as maiores variações sazonais de umidade relativa do ar. Para esses tipos climáticos os maiores valores de umidade relativa ocorreram entre os meses de janeiro e abril e os menores valores foram registrados agosto e novembro. Durante o verão e outono, o principal sistema sinótico relacionado aos valores máximos de umidade relativa foi a ZCIT. Na estação de inverno e início da primavera, a atuação de massas de ar secas (mTAC e mTC) caracterizaram os tipos de tempo quentes com baixa umidade relativa do ar. No domínio do tipo climático 5 o máximo valor foi registrado no mês de abril (74%), e o menor valor durante o mês de setembro (50,2%). As estações contidas na região climática 6 registraram os máximos valores de umidade relativa do ar no mês de março (73,3%) e o mínimo valor em setembro (47,3%). Durante a transição da primavera para o verão, a entrada de perturbações atmosféricas provocadas pela ZCAS e ZCOU nas regiões semissecas do NEB elevaram as médias de umidade relativa, especialmente para o tipo climático 6, que atingiu valor médio de umidade relativa do ar no mês de dezembro de 70%. O clima tropical semiúmido do NE ocidental (tipo 8) apresentou, assim como os tipos semissecos continentais, a sazonalidade marcada nos valores médios de umidade relativa do ar. No tipo semiúmido valores mínimos ocorreram durante o inverno e os valores máximos foram registrados na primavera e no verão.

As pressões atmosféricas sobre o NEB não apresentaram distinções importantes quanto à sazonalidade das variações entre os tipos climáticos. O inverno foi o período em que foram registrados os mais elevados valores médios de pressão atmosférica, como consequência do

avanço do ASAS sobre o continente. Ressalta-se que as curvas de pressão atmosférica se relacionam de maneira diretamente proporcional com os valores de umidade média no NE oriental e de maneira inversa com os valores médios de umidade relativa no NE ocidental. Essa configuração sinótica esteve relacionada aos tipos de tempo úmidos e secos decorrentes da atuação das variantes úmidas ou oceânicas e secas ou continentalizadas da massa Tropical Atlântica. Menores valores médios (abaixo ou igual a 1013hPa) foram registrados nos domínios climáticos setentrionais e ocidentais, e maiores pressões médias foram registradas nos grupos orientais do NEB. Esse padrão de distribuição dos campos isobáricos se justifica pela proximidade (no caso das classes climáticas orientais) ou distanciamento (no caso dos subtipos climáticos setentrionais e ocidentais) dos centros anticiclônicos do ASAS posicionados sobre o oceano Atlântico.

Considerando a importância da precipitação pluviométrica na caracterização dos climas tropicais foram apresentados na Tabela 14 os valores médios anuais de chuva e os valores percentuais sazonais da precipitação, como apoio à interpretação da Figura 15. As chuvas apresentaram uma distribuição média mensal variada, com respostas distintas às variações térmicas e isobáricas sazonais. Foram identificados três regimes pluviométricos, relacionados às regiões climáticas, quanto aos períodos de máximas concentrações médias de chuvas. Os valores de precipitação estiveram concentrados nos seguintes períodos: primavera – verão, verão – outono e outono – inverno. Em relação aos totais anuais de precipitação, os volumes médios dos grupos climáticos estiveram entre 1808,1 mm e 754,8 mm.

Tabela 24 - Valores anuais médios e valores percentuais sazonais de precipitação para os grupos climáticos regionais.

TIPOS CLIMÁTICOS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)	CV (%)	VERÃO (%)	OUTONO (%)	INVERNO (%)	PRIMAVERA (%)
1	1673,8	31,0	44,3	44,5	7,3	3,9
2	1808,1	24,0	18,7	46,0	27,5	7,7
3	1498,6	23,0	23,1	28,6	18,8	29,5
4	762,5	34,0	34,6	30,0	14,8	20,6
5	754,8	31,0	53,0	26,9	4,0	16,1
6	830,7	23,0	43,9	11,3	2,0	42,8
7	983,5	25,0	23,2	39,3	25,8	11,7
8	1459,0	18,4	49,3	16,9	3,0	30,9
9	1168,2	27,0	51,8	33,5	3,4	11,3

Legenda: 1-clima tropical úmido do NE setentrional, 2-climatropical úmido do NE oriental, 3- clima tropical úmido do NE meridional, 4 –clima tropical semissecos do NE oriental, 5-clima tropical semissecos do NE central, 6-clima tropical semissecos do NE ocidental, 7-clima tropical semiúmido do NE oriental, 8-clima tropical semiúmido do NE ocidental e 9- clima tropical semiúmido do NE setentrional. Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

As chuvas de primavera e verão estiveram associadas à atuação dos sistemas sinóticos individualizados ZCAS (na primavera e verão), ZCIT (no verão) e da mEC (primavera e verão). Para os tipos climáticos semisseco e semiúmido do NE ocidental as chuvas de verão e primavera refletiram a atuação desses sistemas atmosféricos, com valores de pressão atmosférica médios mais baixos para a época úmida. Esses regimes climáticos apresentaram a mais forte sazonalidade na distribuição das chuvas. Para o tipo climático semisseco (6), a média anual de precipitação foi de 830,7 mm e foram observados valores percentuais de precipitação em relação ao total anual de 43,9% no verão e 42,8% na primavera. O coeficiente de variação da precipitação anual foi de 23,0%. O tipo climático semiúmido 8 apresentou média anual de 1459 mm e frequência dos volumes de chuvas anuais de 49,3% no verão e 30,9% na primavera. Para esses tipos climáticos, os baixos valores percentuais no outono e inverno são explicados pela expansão do ASAS e, conseqüentemente, das variantes da mTA sobre o continente. O coeficiente de variação da precipitação anual para o tipo 8 foi de 18,4%, o menor observado entre os grupos climáticos. Esse fato está relacionado a uma maior regularidade do regime de chuvas no Brasil central, controlado pela monção sul americana.

O regime de chuvas de verão e outono caracterizou o período úmido dos climas centrais e setentrionais do NEB. Esses tipos climáticos foram marcados pela atuação da ZCIT durante a estação chuvosa, que se concentra entre os meses de fevereiro e maio. As estações úmidas do NE setentrional apresentaram grande concentração média das chuvas para esse intervalo temporal, e elevados valores do coeficiente de variação da precipitação. Observou-se que para a tipo climático 1 as estações do verão e outono concentram, respectivamente, 44,3% e 44,5% do valor total anual. Para esse tipo climático, a média anual de chuva foi de 1673,8 mm com distribuição irregular durante o ano. No inverno o valor percentual em relação ao total anual de precipitação foi de 7,3%, e na primavera de 3,9%. O clima úmido do NE setentrional apresentou coeficiente de variação da precipitação anual de 31,0%. O tipo climático semiúmido do NE setentrional (9) apresentou média anual de precipitação de 1168,2 mm, com forte sazonalidade na distribuição das chuvas. O verão concentrou 51,8% do valor médio anual de chuva, e o outono 33,5%. Nas estações de inverno e primavera, as chuvas são escassas em decorrência da atuação das massas da mTA, associada ao tipo de tempo úmido e estável.

O clima semiárido do NE central (5), também relacionado ao regime pluviométrico convectivo da ZCIT, apresentou a menor média de precipitação anual entre os grupos, com valor de 754,8 mm e um coeficiente de variação anual de 31,0%. A máxima concentração sazonal de verão (53,0%) e outono (26,9%), seguiu o padrão dos climas do NE setentrional. A penetração da mTAC no inverno e primavera explicaram os baixos valores mensais de chuva

nessas estações. O clima semiárido do NE oriental apresenta maior concentração as chuvas durante o verão (34,6%) e outono (30,0%), porém com menor concentração sazonal. No que se refere ao coeficiente de variação das chuvas anuais, foi observado o maior valor para esse tipo climático (34,0%) entre as demais classes de climas.

As chuvas de outono e inverno caracterizam a distribuição pluviométrica sazonal dos subtipos climáticos do NE oriental. Nesse domínio climático as chuvas de outono e inverno são decorrentes, de modo mais frequente, das perturbações adulatórias nos alísios associadas à mTA. O efeito das brisas consorciado à umidade oceânica proporcionou concentração das chuvas durante o período de fortalecimento dos alísios de sudeste. O clima tropical úmido do NE oriental (2), foi o grupo que apresentou maior valor médio de precipitação (1808,1 mm) em decorrência da atuação de massas úmidas e instáveis durante a maior parte do ano, com coeficiente de variação anual de da precipitação de 24,0%. No clima 2, as máximas frequências percentuais de chuva foram registradas nos meses de outono (46,0%) e inverno (27,5%). O clima 7 (semiúmido do NE oriental), com média anual de chuva de 983,5 mm, concentrou 39,3% do total durante o outono. As estações do verão e inverno apresentaram valores similares de concentração percentual das chuvas, representando, respectivamente, 23,2% e 25,8% do valor total.

Constatou-se que os climas tropicais do NE oriental apresentam regime pluviométrico sazonal antifásico com os grupos de climas tropicais do NE ocidental. A dinâmica pluviométrica regional, apresentada nos estudos de Andrade (1972), Nimer (1979), Molion e Bernanado (2002) e Reboita et al. (2012), e no presente estudo, permitem concluir que esse padrão antifásico é explicado pelo efeito inverso da mTA sobre os grupos climáticos mencionados. Enquanto os climas do NE oriental possuem período chuvoso modulado pelos distúrbios dos alísios, nos períodos de expansão do ASAS, os climas do NE ocidental concentram maiores volumes de chuvas durante os períodos de contração do ASAS e expansão das baixas pressões no interior do continente, na primavera e no verão.

O regime pluviométrico do tipo climático 3 (tropical úmido do NE meridional) foi marcado por uma distribuição mais homogênea das médias mensais, quando comparado com a distribuição sazonal dos demais tipos climáticos. Ocorreram, para o tipo 3, dois picos de chuvas, um durante o outono e outro na primavera. No outono, as chuvas foram desencadeadas pelo maior transporte de umidade pelos ventos alísios, principalmente em decorrência dos distúrbios ondulatórios de leste. Na primavera a atuação da ZCAS e ZCOU favoreceu um segundo pico de concentração das precipitações, que ocorrem relacionadas à instabilidade convectiva. Ao longo de todo o ano, os ventos úmidos da mTA1 provocam instabilidade suficiente para que as

médias mensais de precipitação possuam valores próximos a 100 mm, mesmo nos períodos menos chuvosos. A média anual para este domínio climático foi de 1498,6 mm.

#### **5.2.8 Análise de tendência das séries temporais diárias de temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa e precipitação para os tipos climáticos do Nordeste do Brasil**

Todos os tipos climáticos apresentaram tendências significativas de aumento das médias de temperaturas máximas diárias. Para as temperaturas mínimas diárias, houve predominantemente tendência positiva, porém, foi identificada diminuição das médias em um tipo climático (tipo 4). Os níveis de significância dos valores de tendência do teste de Mann-Kendall indicaram uma probabilidade muito baixa de ocorrência de um erro aleatório nas séries temporais analisadas, por isso rejeitou-se a hipótese nula. O aumento das temperaturas diárias é um importante indicativo de mudanças ambientais em curso na Região Nordeste do Brasil. Caso as tendências permaneçam, os valores de temperatura mais elevados podem modificar o balanço hídrico das paisagens regionais a partir do crescimento das taxas de evapotranspiração. Como consequência, ao longo das próximas décadas, o aumento das temperaturas médias máximas e mínimas pode ocasionar, como descrito por Moarengo et al. (2011), aumento da deficiência hídrica, afetando o ciclo hidrológico e os sistemas produtivos vulneráveis, como aqueles representados pela agricultura de subsistência.

Na Tabela 15 foram apresentados os valores de tendência diária, anual e decadal de temperatura para os tipos climáticos. O clima tropical úmido do NE meridional (tipo 3), o qual é representado pelas estações de Canavieiras e Caravelas, ambas no estado da Bahia, apresentou falhas nas séries temporais que impossibilitaram a análise de tendência na escala temporal proposta.

Os tipos climáticos úmidos e o subtipo oriental semiúmido apresentaram tendências de aumento das temperaturas máximas menores do que as observadas para as estações meteorológicas de tipos climáticos semissecos e semiúmidos ocidental e setentrional. Entre os tipos úmidos, o clima tropical do NE setentrional (tipo 1) apresentou a maior tendência de aumento das temperaturas máximas diárias, com valor de 0,3°C por década. O clima tropical úmido do NE oriental (tipo 2) apresentou tendência de aumento de 0,2°C por década. Para o subtipo oriental semiúmido (tipo 7) houve tendência de aumento decadal das temperaturas máximas diárias de 0,1 °C. Em relação às temperaturas mínimas, houve tendência de aumento de 0,2°C por década para os subtipos climáticos orientais (úmido e semiúmido), e de 0,1°C por

década para o tipo úmido setentrional (tipo 1). A relativa similaridade dos valores de tendência, verificada para esses tipos climáticos, pode estar relacionada a variações nos teores térmicos da mTA, que representa os tipos de tempo predominantes nos domínios tropicais úmidos e semiúmidos, associados aos ventos alísios úmidos oceânicos.

Para os tipos climáticos semissecos (tipos 4, 5 e 6) foram observadas tendências de aumento decadal de  $0,4^{\circ}\text{C}$ . As temperaturas mínimas diárias não apresentaram a mesma conformidade de tendência, os tipos climáticos 5 e 6 apresentaram significância para aumento dos valores térmicos mínimos. Todavia, no tipo 5 a tendência de elevação das mínimas foi de  $0,07^{\circ}\text{C}$  por década, enquanto que no tipo 6 foi de  $0,3^{\circ}\text{C}$ . O tipo climático 4 apresentou tendência negativa para as temperaturas mínimas. Essa tendência negativa das temperaturas mínimas no tipo climático semisseco do NE oriental coincide com as áreas mais elevadas entre os climas controlados por massas de ar secas.

Nesse sentido, o aumento da frequência das temperaturas máximas ao longo dos dias estaria relacionado a um aumento da frequência do tipo de tempo seco (de acordo com as características em superfícies observadas anteriormente). Essas condições seriam propícias a um crescimento da amplitude térmica diária em áreas serranas. O aumento da irradiação noturna, em noites com baixa nebulosidade, favoreceria a perda de calor noturno pela superfície terrestre. Esse fato pode estar relacionado a uma tendência negativa das temperaturas mínimas diárias, conjugado à ocorrência de terras altas, no tipo climático 4, e a uma tendência de aumento menos intensa para o tipo climático 5.

A tendência mais intensa de elevação das temperaturas mínimas para o tipo climático 6 (tropical semisseco do NE ocidental), é consonante com os valores de tendência observados para o subtipo climático ocidental 8 de aumento de  $0,3^{\circ}\text{C}$  por década. A similaridade desses regimes climáticos resulta da circulação da monção sul americana. Desse modo, o aumento das mínimas diárias pode ter relação com aumento de tipos de tempo noturnos correspondentes entre esses dois tipos climáticos.

No que se refere à tendência das temperaturas diárias máximas, o tipo climático 8 (tropical semiúmido do NE ocidental) apresentou os mais elevados valores, com taxa de crescimento de  $0,7^{\circ}\text{C}$  por década. De modo análogo, o clima tropical semiúmido do NE setentrional, tendências positivas elevadas para as temperaturas médias diárias máximas ( $0,6^{\circ}\text{C}$  por década) e mínimas ( $0,3^{\circ}\text{C}$  por década). Nos tipos climáticos semiúmidos e semissecos, o aumento da frequência das temperaturas máximas foi compreendido como um indicativo de elevação na frequência de massas de ar secas (mTAC e mTC), as quais estão comumente associadas às temperaturas mais elevadas às 18h UTC.

Tabela 15 - Valores estatísticos do teste de Mann-Kendall para as temperaturas máximas (1993-2017), tendências diária, anual e decadal, e valores de significância (p).

TIPOS DE CLIMA	TEMPERATURA	ESTATÍSTICA (ZMK)	TENDÊNCIA DIA (°C)	TENDÊNCIA ANO (°C)	TENDÊNCIA DÉCADA (°C)	P - VALOR
1	Máxima	0,116	+0,00008	+0,03	+0,3	P<0,00001
1	Mínima	0,067	+0,00003	+0,01	+0,1	P<0,00001
2	Máxima	0,072	+0,00005	+0,02	+0,2	P<0,00001
2	Mínima	0,085	+0,00005	+0,02	+0,2	P<0,00001
4	Máxima	0,066	+0,00010	+0,04	+0,4	P<0,00001
4	Mínima	-0,045	-0,00003	-0,01	-0,1	P<0,00001
5	Máxima	0,102	+0,00012	+0,04	+0,4	P<0,00001
5	Mínima	0,024	+0,00002	+0,007	+0,07	P=0,0003
6	Máxima	0,083	+0,00011	+0,04	+0,4	P<0,00001
6	Mínima	0,065	+0,00007	+0,03	+0,3	P<0,00001
7	Máxima	0,022	+0,00003	+0,01	+0,1	P=0,001
7	Mínima	0,068	+0,00005	+0,02	+0,2	P<0,00001
8	Máxima	0,15	+0,00020	+0,07	+0,7	P<0,00001
8	Mínima	0,1	+0,00008	+0,03	+0,3	P<0,00001
9	Máxima	0,138	+0,00015	+0,06	+0,6	P<0,00001
9	Mínima	0,119	+0,00007	+0,03	+0,3	P<0,00001

Legenda: 1-clima tropical úmido do NE setentrional, 2-climatropical úmido do NE oriental, 3- clima tropical úmido do NE meridional, 4 –clima tropical semissecos do NE oriental, 5-clima tropical semissecos do NE central, 6-clima tropical semissecos do NE ocidental, 7-clima tropical semiúmido do NE oriental, 8-clima tropical semiúmido do NE ocidental e 9- clima tropical semiúmido do NE setentrional.

Organizado pelo autor.

A Figura 23 apresentou os valores diários de temperatura máximos e mínimos para os tipos climáticos entre o dia 01/01/1993 até 31/12/2017. De maneira geral, as séries temporais realçam as variações sazonais dos valores de temperaturas máximas e mínimas. As médias móveis para 90 dias foram calculados no intuito de captar as variações aproximadamente sazonais nas séries, seguindo ciclos trimestrais.

Para o tipo climático 1 (Figura 23 A), foram observados que os valores máximos diários de temperatura mais elevados predominam na primavera e início do verão, na pré-estação das chuvas, e os mais baixos durante o outono. A média dos valores máximos diários foi de 30,7°C. Observou-se, no entanto, uma variabilidade sazonal. Entre os meses de setembro e novembro a média foi de 31,9°C, e entre os meses de março e maio foi de 29,8°C. A média dos valores térmicos diários mínimos foi de 22,6°C. Os valores mínimos diários de temperatura seguiram um padrão de variação sazonal, com médias mínimas de 21,8°C no trimestre de junho a agosto. Os maiores valores das temperaturas mínimas de 23,1 °C ocorreram no trimestre de janeiro a fevereiro.

A amplitude térmica diária média para o tipo climático 1 foi de 8,1°C, com tendência positiva de 0,2°C por década, com P<0,00001. Considerou-se que o aumento da amplitude térmica diária para esse grupo climático é um indicio de diminuição na disponibilidade de

umidade da mTA ao longo da série temporal analisada, já que sob atuação massas de ar úmidas são esperadas menores amplitudes térmicas diárias, em virtude do elevado calor específico da água que acaba funcionando como um importante regular térmico na atmosfera.

Os eventos extremos dos valores máximos de temperatura, retidos os 5% mais elevados da série do tipo climático 1, estiveram entre 32,6°C e 34,6°C. Para esses valores extremos houve significativo aumento de intensidade ( $P=0,00002$ ) e frequência ( $P=0,0001$ ). Na Figura 23 (A) observou-se que, a partir do ano de 2005, houve uma maior frequência dos valores máximos acima de 33°C. Os valores extremos de temperaturas mínimas (retidos os 5% menores valores da série) estiveram compreendidos entre o intervalo de 18,4 °C a 21,2°C. Para os valores extremos mínimos não foi verificada tendência significativa de aumento de intensidade (com  $P=0,09$ ) ou frequência (com  $P=0,12$ ) dos eventos.

Para o tipo climático 2 (tropical úmido do NE oriental), foram verificadas médias máximas diárias de temperatura de 29,6°C. O trimestre de janeiro a março apresentou a maior valor médio para as temperaturas máximas diárias, alcançando 30,9°C. Os menores valores máximos diários foram observados entre junho e agosto, com média de 27,9°C. Os valores mínimos diários apresentaram média de 22,8°C. Durante o verão, as temperaturas mínimas diárias apresentaram média de 23,6°C e no inverno as médias térmicas mínimas foram de 21,7°C. Na Figura 23 (B), corroborou-se, através da média móvel, que os menores valores diários de temperatura frequentemente ocorreram durante o inverno e as máximas diárias foram no registradas no final do verão e início do outono.

No tipo climático 2, o valor da amplitude térmica diária foi de 6,7°C e não foi verificada significância estatística de tendência para os valores de amplitude térmica diária. As temperaturas máximas extremas apresentaram média de 31,8°C para esse tipo climático. O intervalo para os valores de temperaturas máximas extremas esteve entre 31,5°C e 33°C. Foi verificado um aumento da frequência de eventos de temperaturas máximas extremas, com significância de estatística de  $P=0,02$ . Na Figura 23 (B), observou-se uma concentração de valores extremos de temperaturas máximas entre 2008 e 2015. No que se refere a intensidade dos eventos extremos de temperaturas máximas, não houve tendência significativa ( $P=0,25$ ). As temperaturas mínimas extremas apresentaram média de 20,6°C, com intervalo de variação entre 18,8°C e 21°C. Para os valores mínimos extremos foi constatada tendência de aumento de temperatura, com valor de  $P=0,0002$ . Para a frequência dos eventos extremos mínimos, foi verificada significância estatística de diminuição de ocorrência ( $P=0,005$ ).

O tipo climático 4 (tropical semiseco do NE oriental) apresentou temperaturas médias máximas diárias de 30,4°C. Durante os meses de verão, a média das temperaturas máximas foi

de 32,3 °C, e no inverno foi de 28,2°C. As temperaturas mínimas diárias médias apresentaram valor médio de 19,9°C. No verão, as temperaturas mínimas diárias apresentaram média de 21,2°C, e no inverno de 18,1°C. Na Figura 23 (C) observou-se que as temperaturas máximas variam sazonalmente, em valores absolutos, frequentemente entre 35° e 23°C, enquanto que as mínimas entre 22° e 15° C.

Para o tipo climático 4 o valor da amplitude térmica diária média foi de 10,1°C. Houve significância estatística (com  $P < 0,00001$ ) para tendência de aumento da amplitude térmica em 0,5°C por década. Considerou-se que o aumento da amplitude térmica em clima semiseco pode indicar maior ocorrência tipos de tempo secos.

As temperaturas máximas extremas relativas ao tipo climático 4 apresentaram valor médio de 34,8°C, compreendidas entre os limiares de 34,1° e 37,3°C. Não houve significância estatística para aumento na intensidade (com  $P=0,26$ ), nem na frequência ( $P=0,49$ ) de ocorrência de eventos extremos de temperatura máxima diária. Na Figura 23 (C) observou-se ampla ocorrência sazonal dos valores de temperaturas absolutas a partir dos 34°C, não apresentando padrão de aumento de frequência. As temperaturas mínimas extremas diárias para o tipo 4 apresentaram média de 16,7°C, com intervalo entre 14,9° e 17,1°C. Assim como os máximos extremos, não houve tendência significativa relativos à intensidade ou frequência dos eventos extremos de temperatura mínima.

As temperaturas máximas diárias para o tipo climático 5 (tropical semiseco do NE central) apresentaram média de 32,8°C. No verão a média das máximas diárias foi de 32,6°C, no inverno a média foi de 32,5°C. Para esse tipo climático, os valores máximos de temperatura diária foram registrados durante a primavera, com média de 34,6° na estação. Na Figura 23 (D) observou-se que a curva sazonal da temperatura máxima apresenta comportamento distinto daquelas observadas nos tipos climáticos anteriores. A média móvel apresenta menor amplitude e se mantém elevada durante a maior parte do tempo. As temperaturas mínimas diárias apresentaram uma média de 21,6°C para o tipo climático 5. Durante o verão, as temperaturas mínimas diárias apresentaram média de 22,2°C e durante o inverno de 20,4°C.

A amplitude térmica diária para o tipo climático 5 apresentou média de 12,0°C. A análise visual da Figura 23 (D) sugeriu um aumento da amplitude térmica ao longo da série temporal estudada. O teste de tendência apresentou significância ( $P=0,002$ ) para o aumento da amplitude térmica diária de 1,1°C por ano. Desse modo, espera-se um aumento da frequência de tipos de tempo quentes durante a tarde e mais amenos durante a noite. Essas características em superfície são compatíveis com a atuação da mTAC.

Os valores extremos de temperatura máxima diária apresentaram média de 36,5°C, e estiveram compreendidos entre o intervalo de 35,9 e 38,4°C. Foram verificadas tendências com significância estatística de aumento das frequências ( $P=0,01$ ) e intensidade ( $P=0,0006$ ) dos eventos extremos de temperaturas máximas para as estações do tipo climático 5. As temperaturas diárias mínimas extremas tiveram média de 18,7°C, e estiveram compreendidas no intervalo entre 15,9° e 19,2°C. Para os valores mínimos extremos as tendências de intensidade e frequência dos eventos não apresentaram significância estatística.

A série temporal das temperaturas, apresentada na Figura 23 (E), mostrou que a curva térmica do tipo climático 6 é similar à do tipo climático 5. Porém, a amplitude térmica do segundo tipo é maior, como consequência da predominância das massas de ar continentais. A temperatura média máxima diária para o tipo climático tropical semissecado do NE ocidental (tipo 6) foi de 32,4°C. A temperatura máxima de verão apresentou valor de 31,9°C e a de inverno foi de 32,6°C. Nesse tipo climático as temperaturas máximas de inverno, mais elevadas do que as de verão, estiveram relacionadas a maior frequência dos tipos de tempo produzidos pela mTAC e mTC. Assim como no tipo climático 5, a estação de primavera foi a que apresentou os maiores valores de temperaturas máximas, com média de 33,2°C. As temperaturas mínimas diárias do clima semissecado do NE ocidental (tipo 6) apresentaram média de 19,6°C. No verão a temperatura diária mínima média foi de 20,8°C e de inverno foi de 17,7°C.

A amplitude térmica diária média para o tipo climático 6 foi de 12,7°C. Houve tendência de aumento da amplitude térmica diária ( $P=0,0001$ ) de 1,2°C por década. Essa tendência é compatível com o aumento das temperaturas máximas observadas anteriormente para esse tipo climático.

Em relação aos valores extremos para o tipo climático 6, as temperaturas máximas apresentaram média de 37,1°C. Esses extremos estiveram compreendidos entre os limites térmicos de 36,3° e 39,7°C. A análise de tendência da série temporal de temperaturas máximas extremas, apresentou significância para aumento da intensidade dos eventos (com  $P=0,02$ ) e para a frequência dos mesmos ( $P<0,00001$ ). Os valores extremos mínimos de temperatura apresentaram uma média diária de 14,9°C. Os limites extremos de temperaturas mínimas estiveram compreendidos entre 15,7° e 11,8°C. Para os valores mínimos extremos houve tendência de aumento das temperaturas registradas ( $P=0,04$ ), assim como foi verificado tendência de diminuição das frequências de ocorrência dos eventos ( $P=0,003$ ).

O clima tropical semiúmido do NE oriental apresentou temperatura diária máxima de 29,1°C. No verão as temperaturas máximas diárias tiveram média de 31,2°C e no inverno de 26,7°C. As temperaturas mínimas diárias médias foram de 19,9°C. No verão a média das

mínimas foi de 21,1°C e no inverno foi de 18,2°C. Na Figura 23 (F) verificou-se, a partir da média móvel por 90 dias, que as temperaturas máximas e mínimas seguem um padrão sazonal de variação. As temperaturas máximas diárias frequentemente variam entre 33° (no verão) e 24°C (no inverno), e as mínimas entre 22° (no verão) e 16°C (no inverno).

O tipo climático 7 apresentou amplitude térmica diária média de 9,3°C. A tendência para os valores diários de amplitude foi de diminuição do valor em 0,01°C por década ( $P=0,001$ ). O valor da tendência indica uma lenta redução da amplitude térmica diária ao longo da série temporal. De maneira geral, os subtipos climáticos orientais, controlados, predominantemente, por massas de ar úmidas oceânicas não apresentaram valores de tendência expressivos para aumento da amplitude térmica, de modo inverso ao que foi observado para os climas semissecos continentais.

Para o tipo climático 7, os extremos de temperatura máxima diária apresentaram média de 33,4°C e estiveram compreendidos entre os valores de 36,3° e 32,8°C. Para os valores extremos de temperaturas máximas não foi verificada tendência estatística para frequência e intensidade dos eventos. Os extremos diários mínimos apresentaram média de 17,1°C e estiveram distribuídos entre os valores de 15,9°C e 17,5°C. Para os extremos mínimos foi observada tendência de aumento na temperatura ( $P=0,004$ ) e diminuição da frequência de ocorrência dos eventos ( $P=0,005$ ). Portanto, foi verificada uma mudança no padrão de ocorrência dos eventos mínimos extremos, os quais têm se tornado menos frequentes ao longo da série temporal.

A análise da Figura 23 (G) demonstrou que para o tipo climático 8 ocorreram picos de temperaturas máximas entre o inverno e a primavera, período marcado pela atuação de massas de ar secas com características continentais. As temperaturas apresentaram valores mínimos no inverno, mostrando uma amplitude térmica diária elevada. As temperaturas máximas diárias no tipo climático semiúmido do NE oriental apresentaram média de 33,5°C. No verão, as médias máximas diárias foram de 31,8°C, e no inverno foram de 35,6°C. As temperaturas mínimas diárias apresentaram médias de 21,4°C. No verão as mínimas tiveram média de 22,2°C, e no inverno as médias foram de 19,7°C. A sazonalidade das massas de ar quentes e úmidas (que atuaram no verão) e das massas de ar quentes e secas (que caracterizam os tipos de tempo de inverno), explicam variações térmicas pronunciadas no inverno.

A amplitude térmica no tipo climático 8 foi de 12,1°C ao longo da série temporal, assemelhando-se aos valores observados nos demais tipos climáticos continentais (5 e 6). Foi constatada tendência significativa ( $P<0,00001$ ) de aumento da amplitude térmica diária em 0,4°C por década.

As temperaturas máximas extremas apresentaram média de 38,0°C, com variação entre 37,3° e 40,7°C. Para os extremos máximos foi constatada uma tendência de aumento da intensidade ( $P < 0,00001$ ) e da frequência em +2 eventos ao ano (com  $P = 0,000001$ ). As temperaturas mínimas extremas tiveram média de 16,7°C, variando entre 13,7°C e 17,5°C. Os eventos extremos de temperatura não apresentaram significância estatística para tendência de intensidade e frequência.

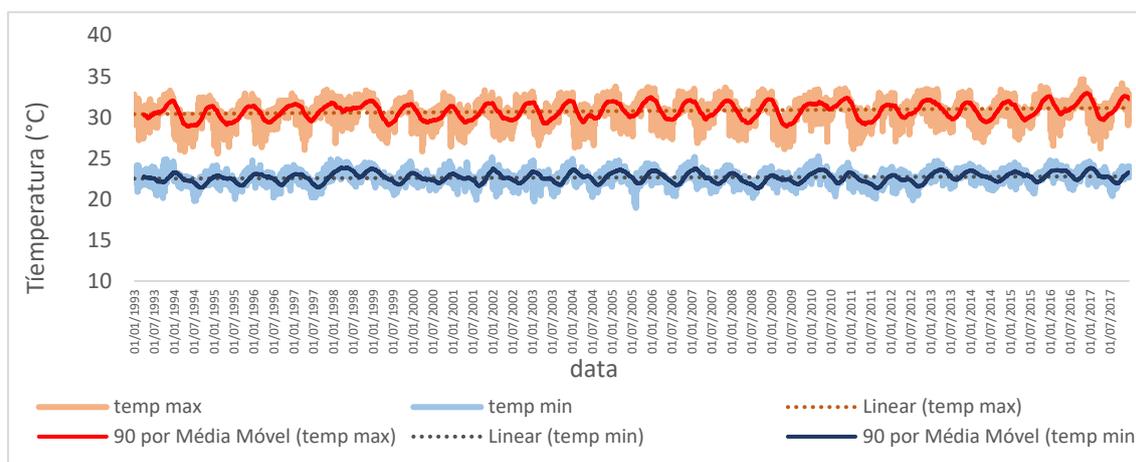
O tipo climático 9 (tropical semiúmido do NE setentrional) apresentou temperatura máxima diária média de 33,6°C. A média de verão foi de 32,6°C e as de inverno de 34,3°C. Durante a primavera as temperaturas médias diárias apresentaram as maiores médias sazonais, com valor de 35,3°C. As temperaturas mínimas diárias tiveram média de 22,8°C. A média de verão foi de 22,8°C e a de inverno foi de 21,3°C. A Figura 23 (H) mostrou uma inclinação positiva da linha de tendência, com picos sazonais de temperaturas máximas diárias. As temperaturas mínimas apresentaram ciclos de variações, com aumento dos valores mínimos a partir do ano de 2010.

A amplitude térmica diária média para o tipo climático 9 foi de 11,2°C. Houve tendência de aumento da amplitude térmica diária de 0,3°C por década ( $P < 0,00001$ ). As temperaturas máximas extremas apresentaram média de 37,2°C, variando entre 36,7°C e 38,7°C. Foram verificadas tendências positivas para a intensidade ( $P < 0,00001$ ) e para as frequências ( $P = 0,0003$ ) dos eventos extremos de temperaturas máximas diárias. As temperaturas mínimas diárias extremas apresentaram média de 19,8°C, com variação entre 17,0°C e 20,4°C. Para os eventos extremos de temperaturas mínimas, foram verificadas tendências de aumento dos valores ( $P = 0,000002$ ) e diminuição da frequência ( $P = 0,01$ ), com menos um evento por ano.

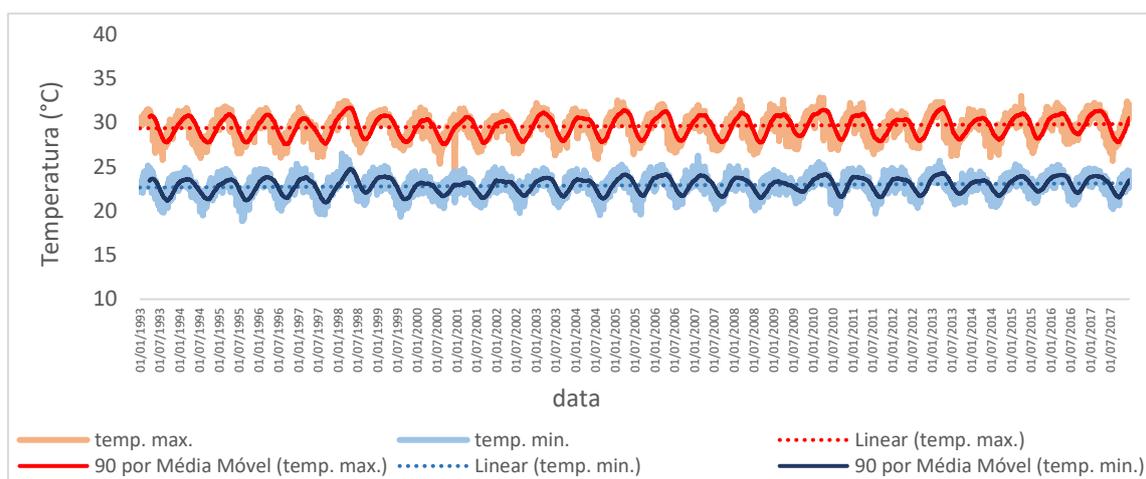
Figura 23 - Temperaturas máximas e mínimas diárias desde 01/01/1993 até 31/12/2017 para os tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H).

continua

(A) Clima tropical úmido do NE Setentrional (tipo 1)



(B) Clima tropical úmido do NE oriental (tipo 2)



(C) Clima tropical semissecado do NE oriental (tipo 4)

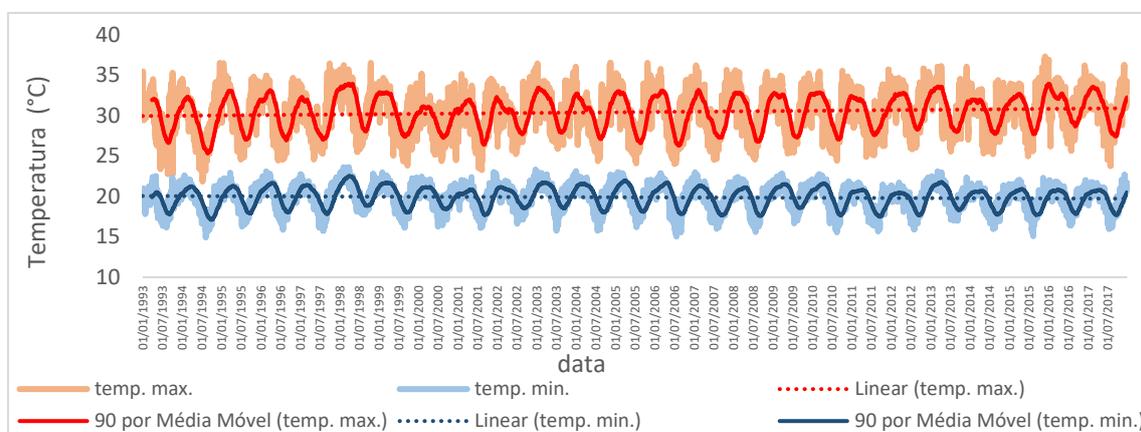
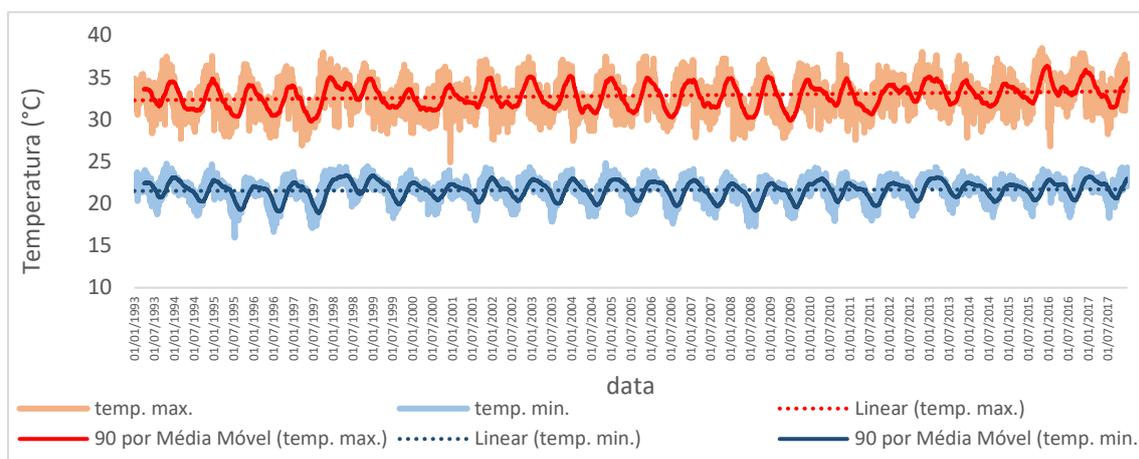


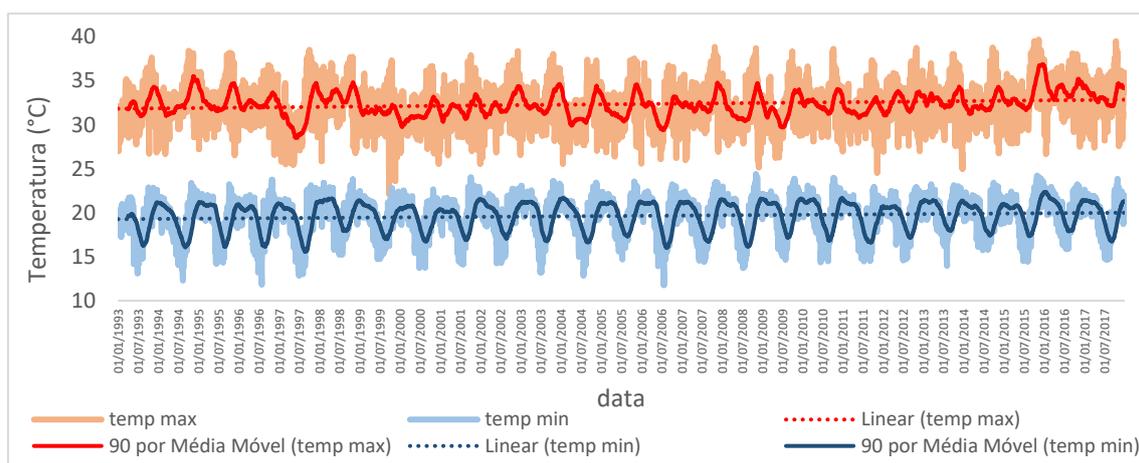
Figura 20 - Temperaturas máximas e mínimas diárias desde 01/01/1993 até 31/12/2017 para os tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H).

continuação

(D) Clima tropical semisseco do NE central (tipo 5)



(E) Clima tropical semisseco do NE ocidental (tipo 6)



(F) Clima tropical semiúmido do NE oriental (tipo 7)

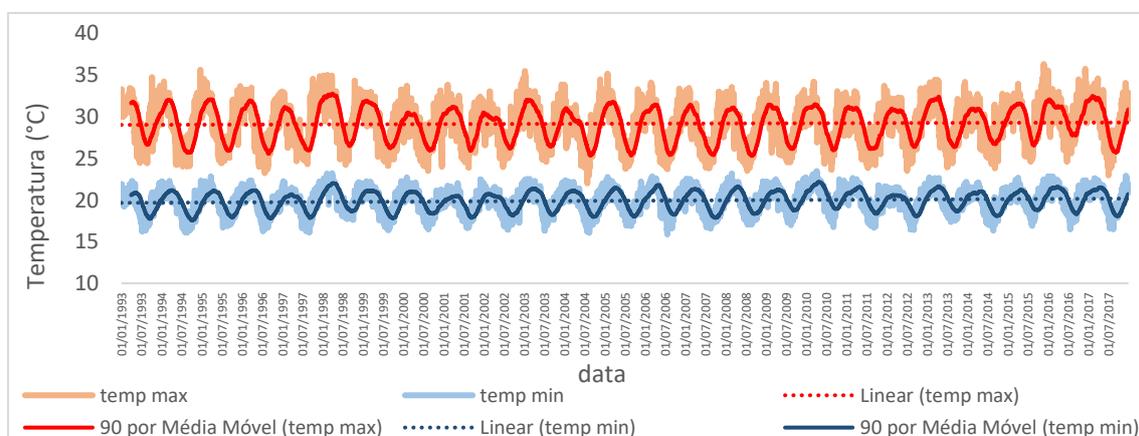
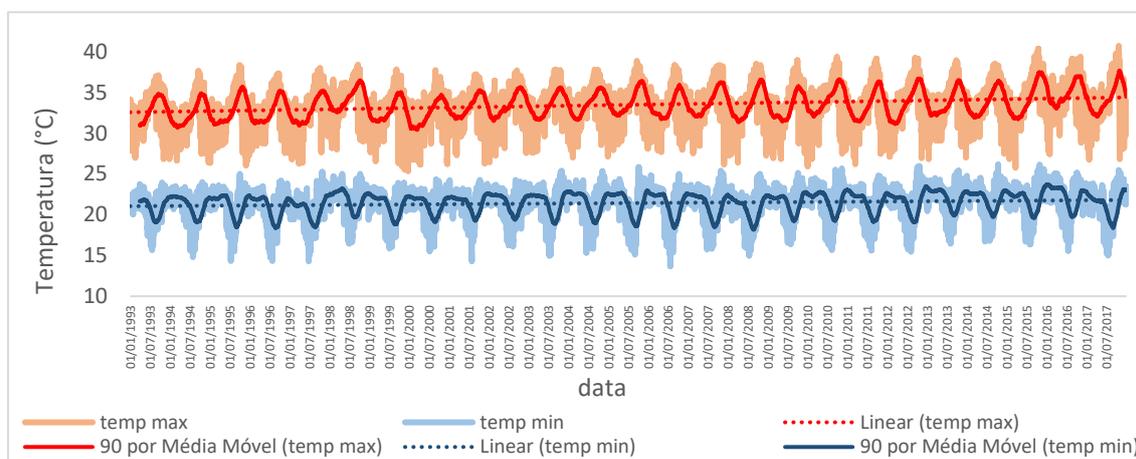


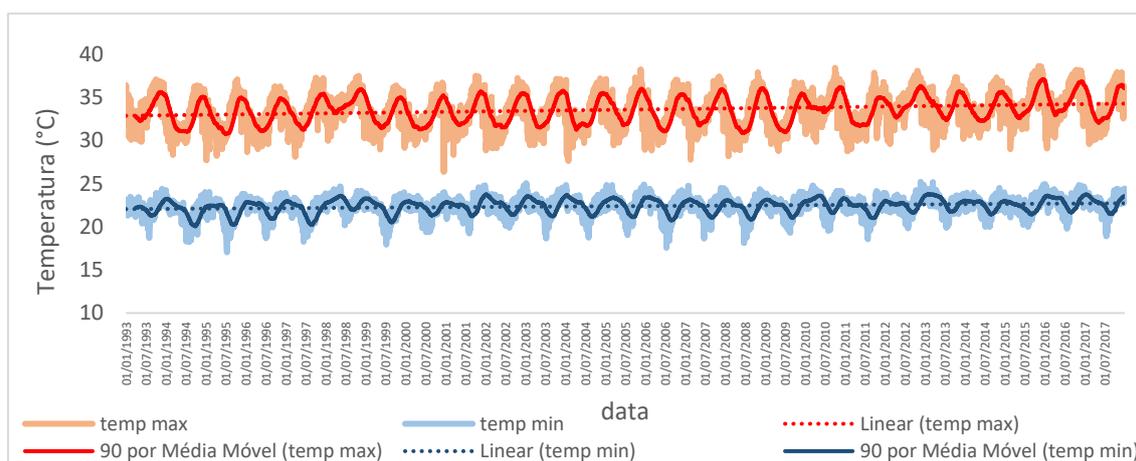
Figura 23 - Temperaturas máximas e mínimas diárias desde 01/01/1993 até 31/12/2017 para os tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H).

conclusão

(G) Clima tropical semiúmido do NE ocidental (tipo 8)



(H) Clima tropical semiúmido do NE setentrional (tipo 9)



Fonte dos dados: BDMEP. Organizado pelos autores.

Os testes de tendência para os valores de umidade relativa média diária, por tipo climático, descritos na Tabela 16, não apresentaram tendências homogêneas como as temperaturas regionais. Os níveis de significância descartaram a hipótese nula para cinco tipos de climas (tipos 1, 2, 6, 8 e 9). Entre as estações que apresentaram tendências significativas, quatro tiveram sinais negativos (tipos 1, 6, 8 e 9) e uma teve sinal positivo (tipo 2). Foram observadas tendências correspondentes para os subtipos climáticos, reforçando que as tendências têm caráter dinâmico, relativos às variações de frequência das massas de ar que atuam em regiões geográficas próximas.

O tropical clima úmido do NE setentrional (tipo 1) apresentou tendência de -0,6% por década, em relação aos valores médios diários de umidade relativa do ar. De modo

correspondente, o tipo climático 9 (tropical semiúmido do NE setentrional) apresentou tendência de -0,6% para a umidade relativa. O mesmo valor da tendência corrobora possíveis mudanças nas frequências de atuação dos tipos de tempo (relacionados às massas de ar e sistemas sinóticos individualizados), já que para esses dois tipos climáticos, foi constatada a atuação dos mesmos sistemas atmosféricos. Diminuição nas taxas de umidade relativa pode indicar uma redução na atuação de sistemas atmosféricos úmidos como a ZCIT, ou de massas úmidas, como a mTA1. Por outro lado, a tendência verificada, ao longo da série temporal analisada, pode indicar maior participação de massas de ar secas ou com menor teor de umidade, como a mTAC ou mTA.

O único tipo climático que apresentou tendência significativa positiva para a umidade relativa do ar foi o tropical úmido do NE oriental (tipo 2). Nesse tipo climático houve tendência de +0,3% por década nos valores diários médios de umidade relativa. A aparente tendência destoante para o aumento dos valores de umidade relativa na costa leste do NEB, onde estão localizadas as estações do tipo climático 2, pode ser explicada por uma dinâmica climática concordante com a diminuição da umidade em outros subtipos climáticos. A principal hipótese é que um aumento na frequência dos episódios de expansão do ASAS, ou uma maior expansão sazonal desse anticiclone, contribua para o transporte de umidade na costa leste e diminuição da umidade no interior da região, como consequência das interações da mTA com a superfície continental. Nesse sentido, Bastos e Ferreira (2000) concluíram que o litoral do NEB é beneficiado pelo transporte de umidade proveniente do ASAS durante o inverno, contribuindo para os totais pluviométricos registrados na costa leste da região.

Os subtipos climáticos ocidentais, caracterizados por climas continentais, apresentaram tendências negativas de umidade relativa média diária. O tipo 6 (clima tropical semiseco do NE ocidental) apresentou tendência de -1,5% e o tipo 8 (clima tropical semiúmido do NE ocidental) teve valor de tendência de -1,3%. A correspondência observada se deve ao fato de que os controles climáticos sinóticos são similares. Ambos foram marcados por importante influência da mEC no verão, e das mTAC e mTC no inverno. Portanto, tendências negativas de umidade podem estar relacionadas com aumento de frequência de massas de ar secas nas localidades referentes às estações meteorológicas dos respectivos tipos climáticos.

Os demais tipos climáticos não apresentaram tendências com significância estatística. Para esses climas foi aceita a hipótese nula de não existência de tendência nas séries temporais de umidade relativa média diária.

Tabela 36 - Valores estatísticos do teste de Mann-Kendall para a umidade relativa média diária (1993 - 2017), tendências diária, anual, decadal e valores de significância (P).

TIPOS DE CLIMA	ESTATÍSTICA (ZMK)	TENDÊNCIA DIA (%)	TENDÊNCIA ANO (%)	TENDÊNCIA DÉCADA (%)	P-VALOR
1	-0,05	-0,0002	-0,06	-0,6	P<0,00001
2	0,03	+0,00009	+0,03	+0,3	P=0,00001
4	0,0005	-0,00001	-0,004	-0,04	P=0,94
5	-0,003	-0,000002	-0,0006	-0,006	P=0,64
6	-0,06	-0,0004	-0,15	-1,5	P<0,00001
7	-0,002	-0,000006	-0,002	-0,02	P=0,73
8	-0,05	-0,0004	-0,13	-1,3	P<0,00001
9	-0,03	-0,0002	-0,06	-0,6	P=0,00001

Legenda: 1-clima tropical úmido do NE setentrional, 2-climatropical úmido do NE oriental, 3- clima tropical úmido do NE meridional, 4 –clima tropical semisseco do NE oriental, 5-clima tropical semisseco do NE central, 6-clima tropical semisseco do NE ocidental, 7-clima tropical semiúmido do NE oriental, 8-clima tropical semiúmido do NE ocidental e 9- clima tropical semiúmido do NE setentrional.

Organizado pelo autor.

A série temporal de umidade relativa do ar referente ao tipo climático 1, apresentada na Figura 24 (A), mostrou uma linha de tendência decrescente, corroborando os resultados apresentados anteriormente. As médias diárias de umidade foram de 81,9%, com maiores valores médios no outono (86,5%) e menores valores na primavera (76,8%). Os ventos alísios úmidos frequentes durante todo o ano, garantiram médias de umidade relativa elevadas durante todo o intervalo temporal analisado. A amplitude de variação sazonal da umidade relativa diária, para o tipo climático 1, reforça os limiares de umidade associados a atuação das massas úmidas mTA e mTA1 e da ZCIT, as quais caracterizam um clima influenciado por ventos oceânicos.

Os valores extremos mínimos de umidade apresentaram média de 72,5%, variando entre 62,0% e 73,8%. Para os valores extremos de umidade relativa mínima não foram verificadas tendências significativas para magnitude e frequência dos eventos.

O tipo climático 2 (tropical úmido do NE oriental) apresentou, em sua série temporal, uma menor amplitude entre os valores sazonais de umidade relativa do ar, quando comparadas às médias diárias dos demais tipos climáticos. A Figura 24 (B) mostra que o elevado teor de umidade atmosférica, durante todo o ano, caracterizou os tipos de tempo nas estações meteorológicas do leste do Nordeste. Ao contrário dos demais tipos, a linha de tendência linear apresentou uma inclinação positiva e suave, corroborando os resultados significativos de aumento da umidade atmosférica. A média dos valores diários de umidade relativa na série temporal foi de 78,9%. A menor média sazonal foi registrada na primavera (76,2%) e a maior

no outono (81,9%). Assim como no tipo climático 1, os ventos alísios úmidos da mTA garantem uma disponibilidade de umidade atmosférica elevada ao longo das estações do ano.

Os valores extremos mínimos diários de umidade relativa para o tipo climático 2 apresentaram média de 71,8% e variação entre 66,1 e 72,9%. Não houve tendência significativa para intensidade ou frequência dos eventos extremos mínimos de umidade relativa do ar para o referido tipo climático.

A Figura 24 (C) apresentou a série temporal de umidades relativas médias diárias para o clima tropical semissecado do NE oriental (tipo 4). O valor médio da umidade diária foi de 70,2%. Constatou-se uma variabilidade sazonal significativa dos valores médios, com umidade relativa máxima média no outono (76,4%) e mínima na primavera (63,9%). As variações sazonais foram concordantes com as frequências dos tipos de tempo úmidos no outono e menos úmidos na primavera. A linha de tendência linear não apresentou inclinação, indicando que não houve tendência na série temporal.

Os valores extremos mínimos de umidade relativa diária apresentaram média de 55,4%, variando entre 49,3% e 57,3%. Não foram observadas tendências significativas para magnitude ou frequência dos eventos mínimos extremos de umidade relativa diária.

A série temporal relativa às umidades relativas médias diárias do tipo climático 5 (tropical semissecado do NE central), apresentada na Figura 24 (D), mostrou uma elevada variabilidade sazonal. O valor médio diário da série temporal foi de 61,9%. O verão e o outono foram as estações com maiores valores de umidade relativas diárias, com média de 68,4% para ambas as estações. A estação do ano com menor valor de umidade média foi a primavera (54,7%).

Os valores extremos mínimos de umidade relativa para o tipo 5 apresentaram média de 45,2%, variando entre 37,9% e 47,2%. Foram constatadas tendências de aumento dos valores médios para os eventos extremos mínimos (com  $P=0,001$ ) e uma diminuição das frequências ( $P=0,007$ ) anuais de ocorrência.

O tipo climático 6 (tropical semissecado do NE ocidental) apresentou linha de tendência linear com inclinação negativa, apresentada na Figura 25 (E), para a umidade relativa diária. A amplitude sazonal observada na série temporal mostra que os valores mínimos médios alcançam limiares inferiores a 40%, porém para os meses mais úmidos foram verificados registros superiores a 80%. O valor médio na série temporal foi de 60,9%. O maior valor médio sazonal foi registrado na estação de verão (69,7%) e o menor foi verificado no inverno (50,1%). As variações nos teores de umidade relativa refletem a sazonalidade das massas de ar, úmidas no

verão, com destaque para a mEC, e secas no inverno, com elevadas frequências de tipos de tempos secos produzidos pela mTC e mTAC.

A média dos valores extremos de umidade relativa diária para o tipo climático 6 foi de 38,5%, variando entre 31,7% e 41,4%. Os tipos de tempo secos extremos foram registrados de maneira mais frequente nos meses de setembro e outubro, durante a pré-temporada das chuvas. Em relação às tendências relativas à intensidade e frequência dos eventos, não houve significância estatística.

A análise da série temporal de umidade relativa média diária referente ao clima tropical semiúmido do NE oriental (tipo 7), apresentada na Figura 24 (F), não revelou inclinação da linha de tendência linear. Habitualmente, observou-se uma variação da umidade entre 95% e 60%. O outono foi, em média, a estação mais úmida (com valor da umidade relativa diária de 84,8%) e a primavera a menos úmida (com valor médio de 73,8%).

Os eventos extremos de umidade relativa mínima diária apresentaram média de 67,5% para o tipo climático 7, variando entre 61,8% e 69,0%. Não foram verificadas tendências relativas à intensidade ou frequências dos eventos.

O clima tropical semiúmido do NE ocidental (tipo 8) teve uma série temporal, apresentada na Figura 24 (G), caracterizada por variação sazonal da umidade relativa média diária entre 95% e 35%. O verão foi a estação mais úmida, com média diária de 82,1%. O inverno foi a estação mais seca e as médias diárias foram de 55,7%. O comportamento sazonal da umidade relativa no tipo climático 8 foi similar àquele descrito para o clima do tipo 6, ambos classificados como subtipos do NE ocidental. Nesse sentido, os mecanismos de circulação atmosférica relacionados à monção sul americano, no interior do continente, explicam a similaridade observada entre os dois tipos climáticos.

Os eventos extremos de umidade relativa mínima diária apresentaram média de 45,2%, com variação entre 36,8% e 48,0%. Não houve tendência significativa para os valores extremos mínimos no que se refere a frequência e intensidade dos mesmos.

O clima do tipo 9 (tropical semiúmido do NE setentrional) apresentou variação sazonal da umidade relativa média diária entre 90% e 50%. A linha de tendência linear para a série temporal, apresentada na Figura 24 (H), mostrou uma inclinação negativa. O verão e o outono foram as estações com médias diárias de umidade relativas mais elevadas (ambas com valor de 78,9%), e o inverno foi a estação com valor médio mais baixo, de 63,3%.

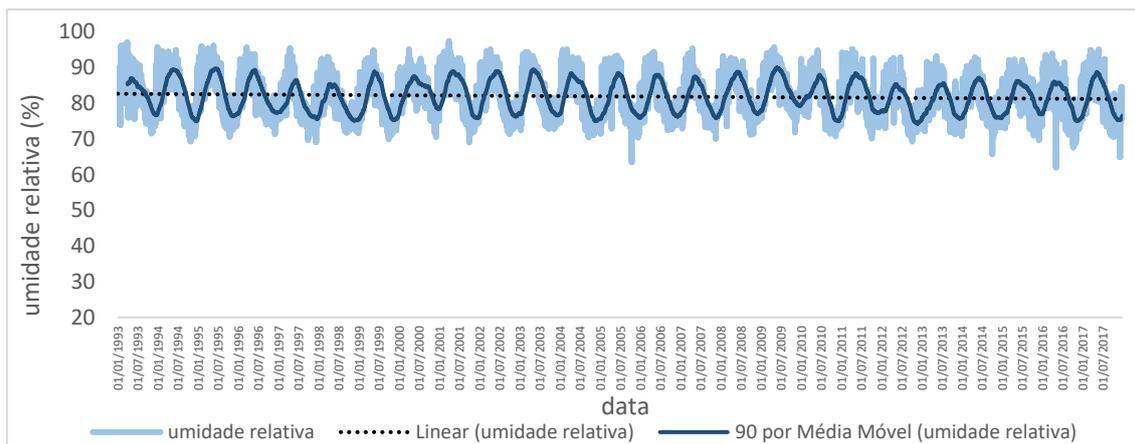
A análise dos extremos da série temporal apresentou limites entre os valores de umidade relativa diária de 48,8% e 56,4%, com média de 54,6%. Não houve significância para

a frequência de ocorrência dos eventos extremos, mas foi constatada tendência (com  $P=0,02$ ) de aumento dos valores de umidade mínima diária nesses episódios.

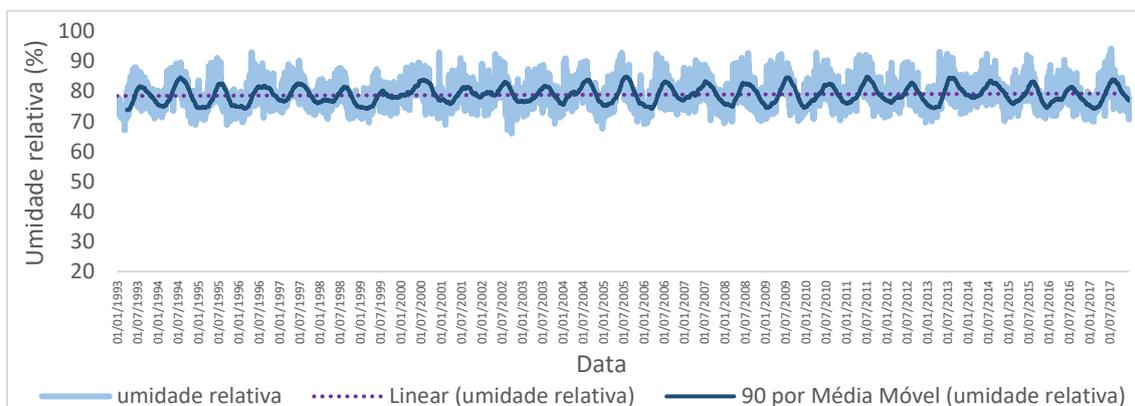
Figura 24 - Séries temporais (1993 - 2017) diárias médias de umidade relativa do ar referentes aos tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H).

continua

(A) Clima tropical úmido do NE setentrional (tipo 1)



(B) Clima tropical úmido do NE oriental (tipo 2)



(C) Clima tropical semissécco do NE oriental (tipo 4)

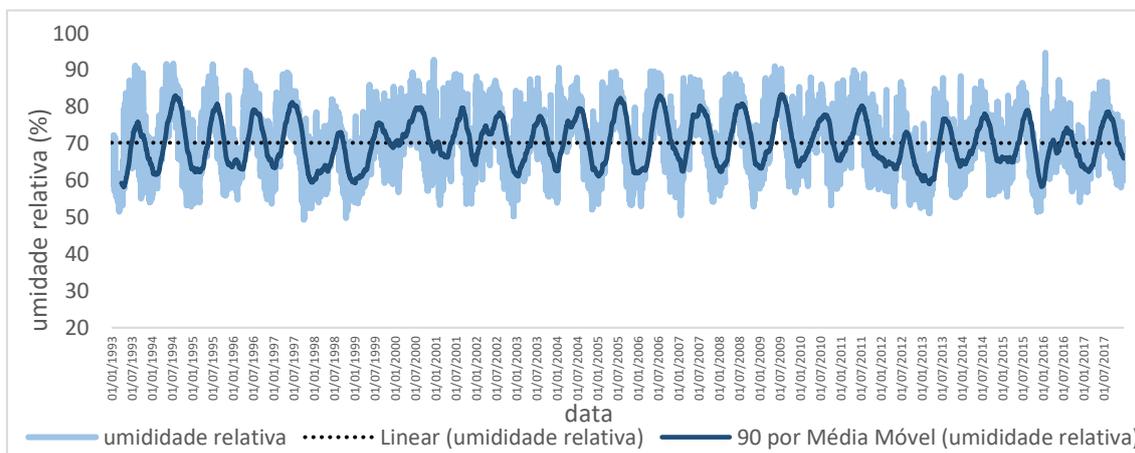
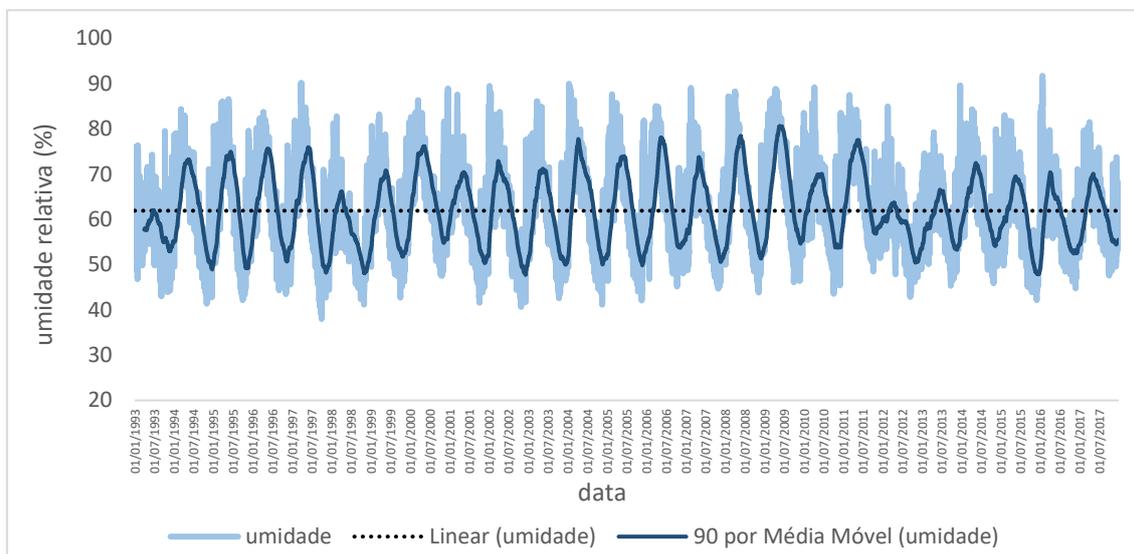


Figura 24 - Séries temporais (1993 - 2017) diárias médias de umidade relativa do ar referentes aos tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H).

continuação

(D) Clima tropical semissecado do NE central (tipo 5)



(E) Clima tropical semissecado do NE ocidental (tipo 6)

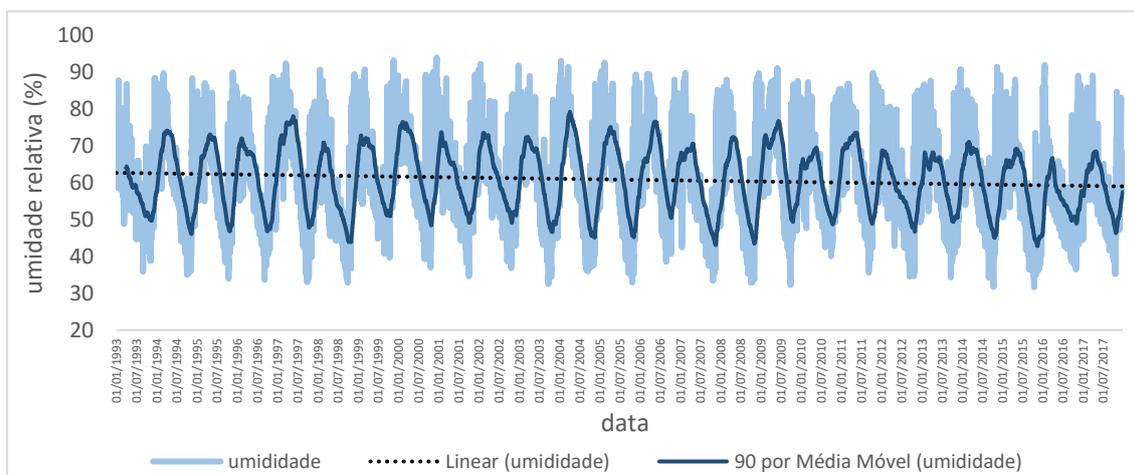
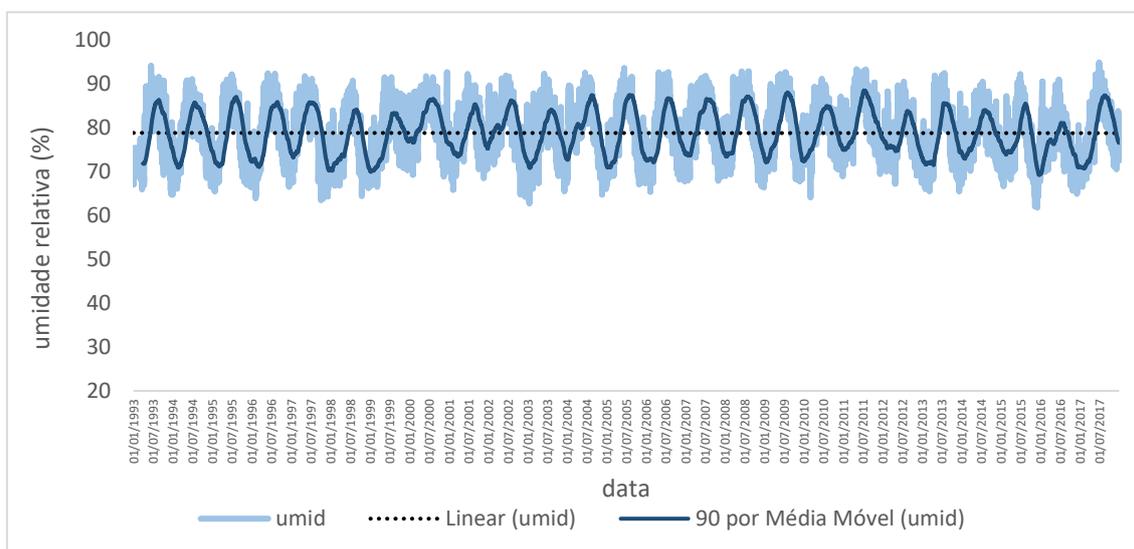


Figura 24 - Séries temporais (1993 - 2017) diárias médias de umidade relativa do ar referentes aos tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H).

continuação

(F) Clima tropical semiúmido do NE oriental (tipo 7)



(G) Clima tropical semiúmido do NE ocidental (tipo 8)

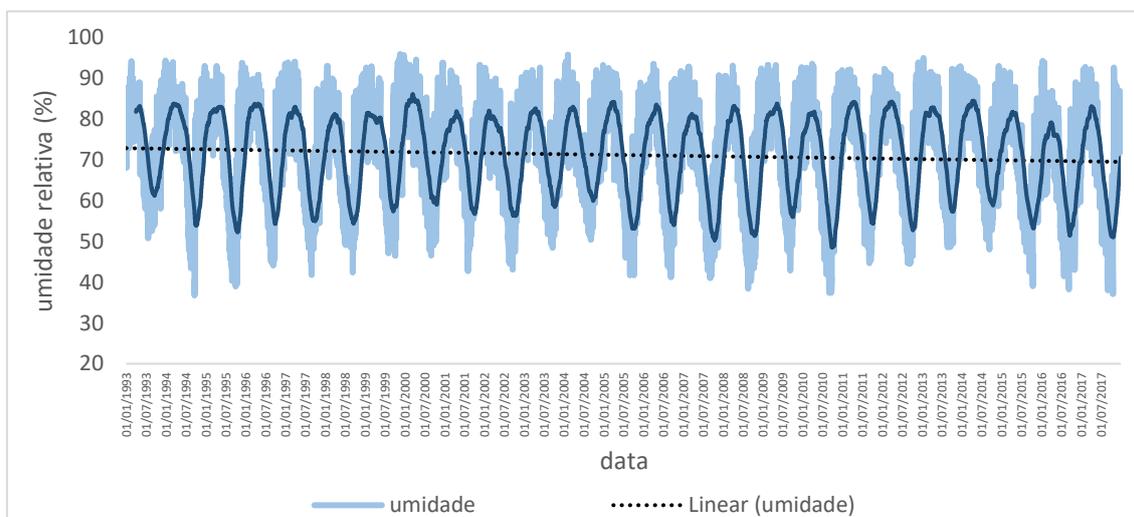
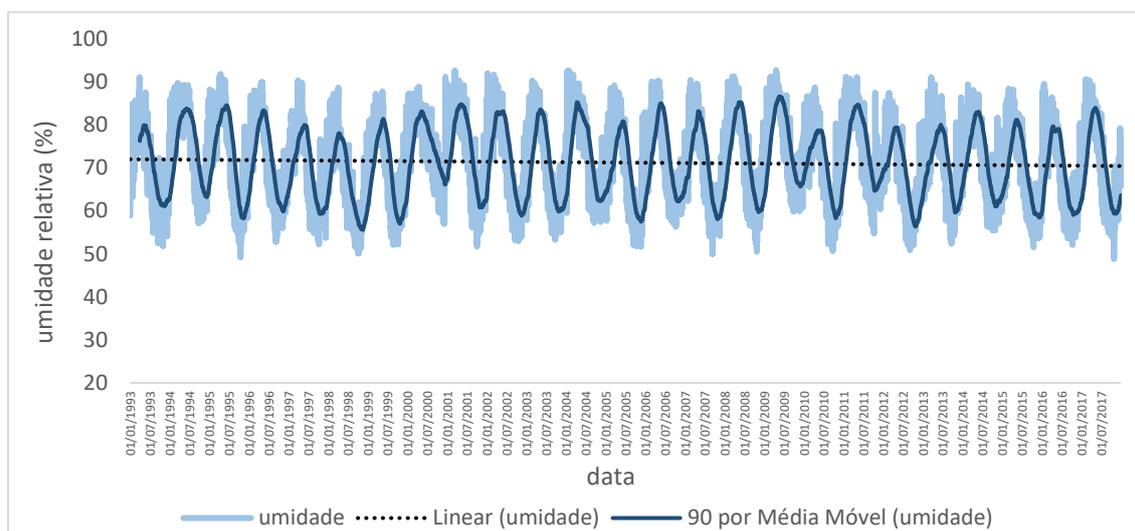


Figura 24 - Séries temporais (1993 - 2017) diárias médias de umidade relativa do ar referentes aos tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H).

conclusão

(H) Clima tropical semiúmido do NE setentrional (tipo 9)



Fonte dos dados: BDMEP. Organizado pelos autores.

As tendências relativas à precipitação diária média, apresentadas na Tabela 17, tiveram significância estatística para os subtipos climáticos setentrionais, ocidentais e central. Para todos os tipos climáticos referidos, os sinais de tendência foram negativos, com diminuição das precipitações diárias médias ao longo da série temporal. Esse resultado, associado ao aumento das temperaturas, indicou um provável aumento de aridez nos subtipos climáticos do Nordeste do Brasil.

O clima tropical úmido do NE setentrional (tipo 1) apresentou tendência de  $-0,3$  mm por década para a precipitação diária média. Nesse tipo climático, esse resultado pode estar relacionado a uma menor frequência de atuação da ZCIT, principal mecanismo sinótico relacionado a ocorrência de chuvas entre o verão e o outono, e uma possível maior participação das massas de ar estáveis, como a mTA e mTAC, na composição dos tipos de tempo. As tendências de precipitação, no tipo climático 1, estiveram consonantes com aumento das temperaturas médias e diminuição da umidade relativa diária, indicando uma diminuição da disponibilidade hídrica. De modo similar, o tipo climático 9 (tropical semiúmido do NE setentrional), apresentou tendência decadal de  $-0,3$  mm para a precipitação diária. Esse fato reforça o caráter dinâmico das mudanças observadas para os valores diários de chuva nos subtipos climáticos setentrionais.

O clima tropical semissecado do NE central apresentou tendência de -0,2 mm por década, para a precipitação diária média. Como os tipos de climas do Nordeste setentrional e central apresentaram períodos de chuva controlados pela ZCIT, associou-se as tendências observadas à dinâmicas climáticas similares.

Os subtipos climáticos ocidentais, controlados pela dinâmica da monção sul americana, apresentaram tendências significativas de diminuição da precipitação diária média, indicando uma mudança no padrão sinótico sub-regional. O tipo climático 6 apresentou tendência de -0,1 mm e o tipo climático 8 de -0,25 mm por década.

Tabela 17 - Valores estatísticos do teste de Mann-Kendall para a precipitação média diária (1993-2017), tendência diária, anual, decadal e valores de significância (P).

TIPOS DE CLIMA	ESTATÍSTICA (ZMK)	TENDÊNCIA DIA (MM)	TENDÊNCIA ANO (MM)	TENDÊNCIA DÉCADA (MM)	P-VALOR
1	-0,03	-0,00009	-0,03	-0,3	P=0,00006
2	-0,009	-0,000007	-0,003	-0,03	P=0,18
4	-0,011	-0,00002	-0,01	-0,1	P=0,12
5	-0,024	-0,00005	-0,02	-0,2	P=0,001
6	-0,019	-0,00003	-0,01	-0,1	P=-0,008
7	0,005	0,00001	0,005	0,05	P=0,513
8	-0,024	-0,00007	-0,025	-0,25	P=0,001
9	-0,05	-0,00008	-0,03	-0,3	P<0,00001

Legenda: 1-clima tropical úmido do NE setentrional, 2-climatropical úmido do NE oriental, 3- clima tropical úmido do NE meridional, 4 –clima tropical semissecado do NE oriental, 5-clima tropical semissecado do NE central, 6-clima tropical semissecado do NE ocidental, 7-clima tropical semiúmido do NE oriental, 8-clima tropical semiúmido do NE ocidental e 9- clima tropical semiúmido do NE setentrional. Organizado pelo autor.

A série temporal das médias diárias de precipitação para o grupo 1, apresentada na Figura 25 (A), mostrou uma variação sazonal pronunciada. A média diária foi de 4,3 mm ao longo de todo o período analisado. O verão e o outono apresentaram média de precipitação de 7,8 mm por dia, sendo as duas estações mais chuvosas, como consequência da posição climatológica da ZCIT. Os maiores volumes da série foram registrados entre os meses de janeiro e maio. O inverno apresentou média de 1,3 mm e a primavera de 0,6 mm. Nessas estações, a maior participação da mTA reduziu os totais diários médios de chuvas.

Em relação aos eventos extremos diários, não foram observadas tendências significativas quanto a magnitude ou frequência. A média das chuvas extremas diárias foi de 29,4 mm, variando entre 20,0 mm e 85,6 mm.

A Figura 25 (B) apresentou as médias diárias de precipitação para o tipo climático 2. O valor médio foi de 4,7 mm por dia, com média máxima no outono (8,8 mm) e mínima na

primavera (1,5 mm). O inverno apresentou média diária de 5,2 mm e o verão de 3,5 mm. A média móvel da série temporal por 90 dias refletiu, recorrentemente, os picos de chuvas diárias das estações de outono e inverno.

Os valores extremos de chuvas diárias do grupo 2 tiveram média de 28,9 mm, com variação entre 19,5 mm e 76,6 mm. Para a magnitude dos eventos extremos de precipitação diária, houve tendência significativa de aumento ( $P=0,001$ ). No que se refere às frequências de ocorrência diária não houve significância estatística de tendência na série.

O clima tropical semiseco do NE oriental (tipo 4) apresentou média diária de precipitação de 1,9 mm. Na Figura 25 (C), observou-se que a sazonalidade foi menos definida para esse tipo climático, quando comparados aos gráficos dos tipos úmidos. Interrupções nos picos sazonais de chuvas foram verificados entre 1997 e 1998, e entre 2011 e 2013, demarcando extensos períodos secos. O verão apresentou média de chuva diária de 2,7 mm, o outono de 2,3 mm, o inverno de 1,2 mm e a primavera de 1,6 mm. As maiores médias diárias de verão e outono estiveram relacionadas às maiores frequências de atuação da ZCIT e mTA1.

A média dos eventos diários extremos de precipitação para o tipo climático 4 foi de 13,2 mm, com variação entre os limiares de 7,8 mm e 38,5 mm. Não foram constatadas significâncias estatísticas para frequência ou magnitude dos eventos extremos de chuva.

A Figura 25 (D) apresentou os valores diários médios de precipitação para o tipo climático 5, onde foi constatado comportamento sazonal ao longo da série climatológica. Registram-se anos com maiores volumes diários de chuva como 2008 e 2009, e anos com médias mais baixas, como 1998 e 2012, indicando uma variabilidade interanual. A média das chuvas diárias foi de 1,9 mm, assim como no tipo 4. O verão foi a estação com maiores volumes diários médios (alcançando 4,0 mm por dia), e o inverno correspondeu ao período mais seco, com precipitação diária média de 0,3 mm. Para o clima tropical semiseco do NE central as maiores médias diárias de chuva no verão foram relacionadas às maiores frequências de atuação da ZCIT.

Os eventos extremos diário de chuva no tipo climático 5 não apresentaram tendências significativas quanto a intensidade ou frequência. A média dos valores extremos foi de 14,3 mm, com variação entre 9,0 mm e 41,0 mm.

As precipitações diárias médias para o grupo climático 6 (tropical semiseco do NE ocidental) apresentaram sazonalidade bastante pronunciada, verões úmidos e invernos secos. Na Figura 25 (E) foi possível observar que os maiores valores diários predominaram nas estações de verão e primavera. A média das chuvas diárias para a série temporal foi de 2,2 mm. Os maiores valores médios diários ocorreram nas estações do verão (4,0 mm) e primavera (3,7

mm). O outono e o inverno foram as estações mais secas, com valores médios diários abaixo de 1,0 mm.

Os eventos extremos de chuvas diárias, para o tipo climático 6, tiveram média de 20,1 mm. O valor mínimo extremo foi de 12,9 mm e o máximo de 55,9 mm. Não foram verificadas tendências significativas para frequência e magnitude dos eventos extremos de chuva.

O clima tropical semiúmido do NE oriental (tipo 7) teve média diária de precipitação de 2,6 mm para a série temporal apresentada na figura 25 (F). O outono foi a estação com maior média diária de chuvas, com valor de 4,1 mm. O verão e o inverno apresentam médias similares, com valores respectivos de 2,2 mm e 2,8 mm. A primavera foi a estação menos chuvosa, com média diária de precipitação de 1,2 mm. Do ponto de vista da distribuição sazonal dos valores de chuvas diárias, o tipo climático 7, apresentou-se como uma transição entre os tipos climáticos 2 e 4, sendo influenciado por massas de ar similares.

Os valores extremos de precipitação diária tiveram média de 14,2 mm, variando entre 10,2 mm e 39,4 mm. Em relação às tendências de magnitude e frequência dos eventos extremos, não foi observada significância estatística.

A série temporal de precipitação diária, referente ao tipo climático 8 (tropical semiúmido do NE ocidental), apresentada na Figura 25 (G), teve um comportamento sazonal similar ao observado para o tipo climático 6. As chuvas diárias apresentaram maiores volumes médios no verão e na primavera, influenciadas pela atuação da ZCAS e MEC. A média diária de chuva para a série foi de 3,9 mm. A estação do verão apresentou média diária de precipitação de 8,0 mm, a primavera de 4,8 mm, o outono de 2,6 mm e o inverno de 0,3 mm. O ar seco, associado à mTC, que se expandiu frequentemente pelo interior da região durante o inverno, explicou os menores volumes médios de chuva nessa estação.

Os valores extremos de precipitação para o tipo climático 8 apresentaram média de 29,3 mm, com variação entre 18,8 mm e 91,8 mm. Apesar dos intensos valores diários médios de precipitação observados na série temporal, não houve tendência significativa relativa à frequência ou amplitude dos eventos extremos.

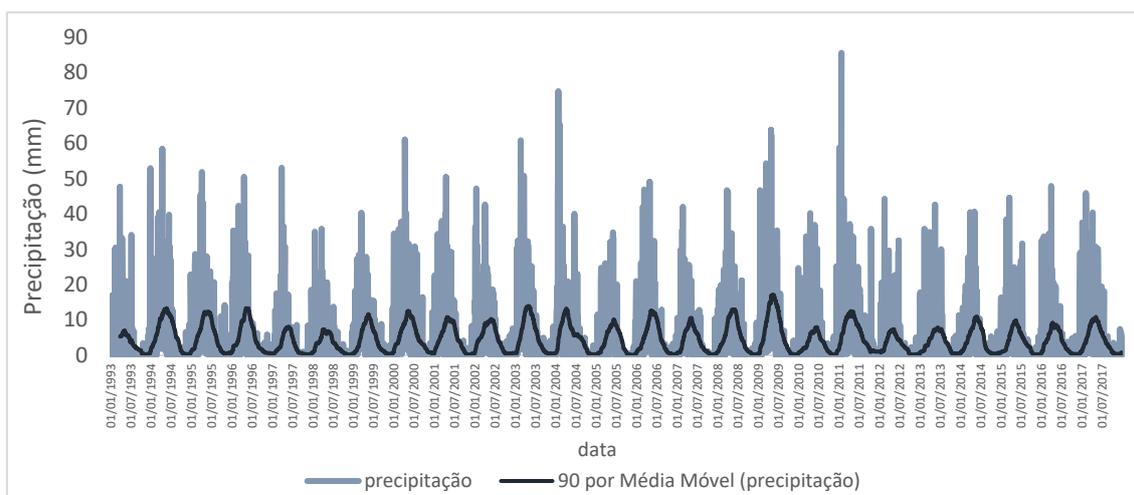
O clima tropical semiúmido do NE setentrional apresenta distribuição sazonal dos valores médios de chuva diária similar à observada para o tipo climático 1. A dinâmica climática desses subtipos climáticos foi regida pelos mesmos mecanismos dinâmicos da atmosfera, porém em frequências distintas. Na Figura 25 (H) constatou-se que os máximos pluviométricos tendem a se concentrar entre os meses de janeiro e maio. O verão apresentou média diária de 6,8 mm, o outono de 4,1 mm, o inverno de 0,4 mm e a primavera de 1,4 mm.

Os eventos extremos diários de precipitação do tipo climático 9 apresentaram média de 20,6 mm, com intervalo entre 14,1 mm e 48,6 mm. A frequência e a magnitude dos eventos extremos diários não apresentaram tendência significativa para o tipo climático 9.

Figura 25 - Séries temporais diárias (1993-2017) de precipitação referentes aos tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H).

continua

(A) Clima tropical úmido do NE setentrional (tipo 1)



(B) Clima tropical úmido do NE oriental (tipo 2)

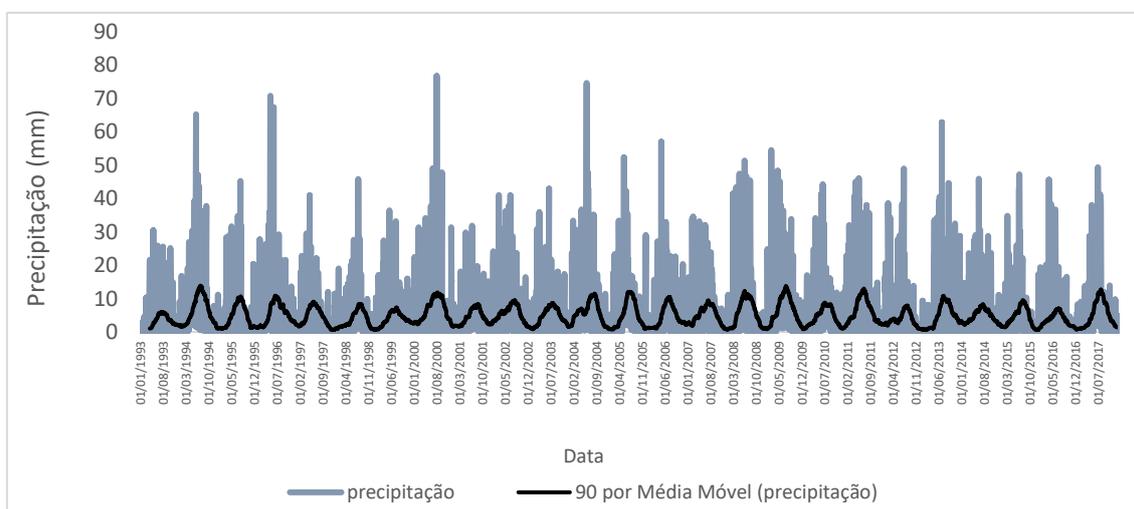
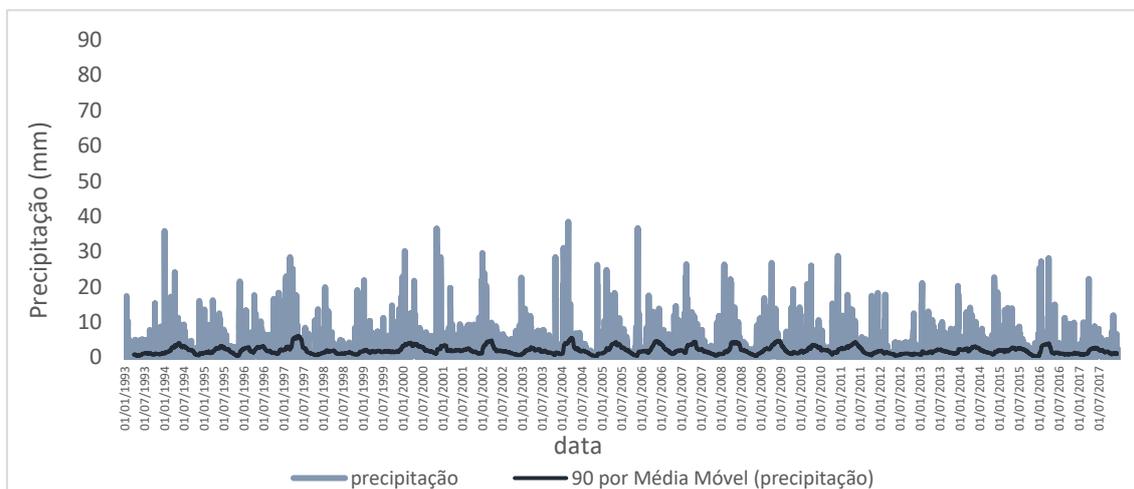


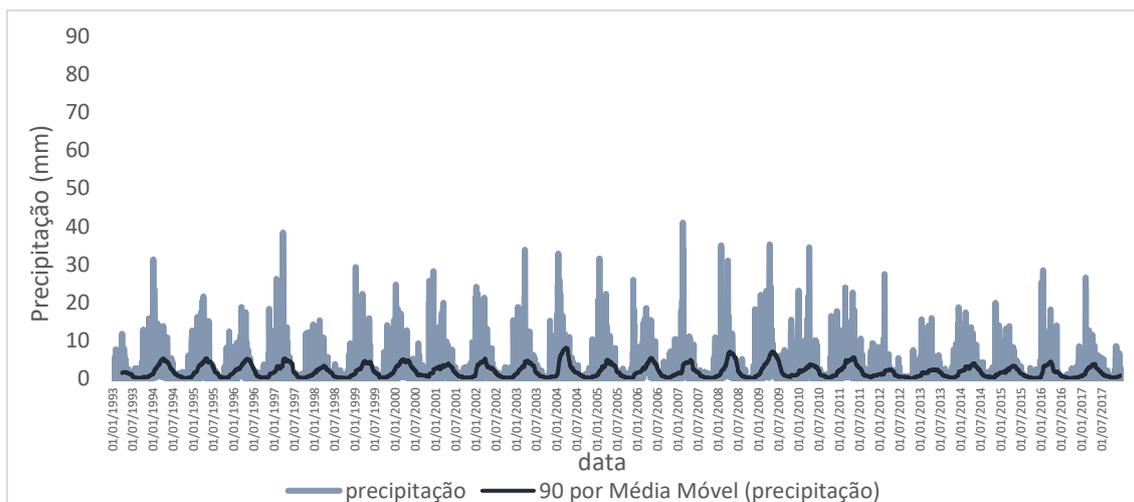
Figura 25 - Séries temporais diárias (1993-2017) de precipitação referentes aos tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H).

continuação

(C) Clima tropical semisseco do NE oriental (tipo 4)



(D) Clima tropical semisseco do NE central (tipo 5)



(E) Clima tropical semisseco do NE ocidental (tipo 6)

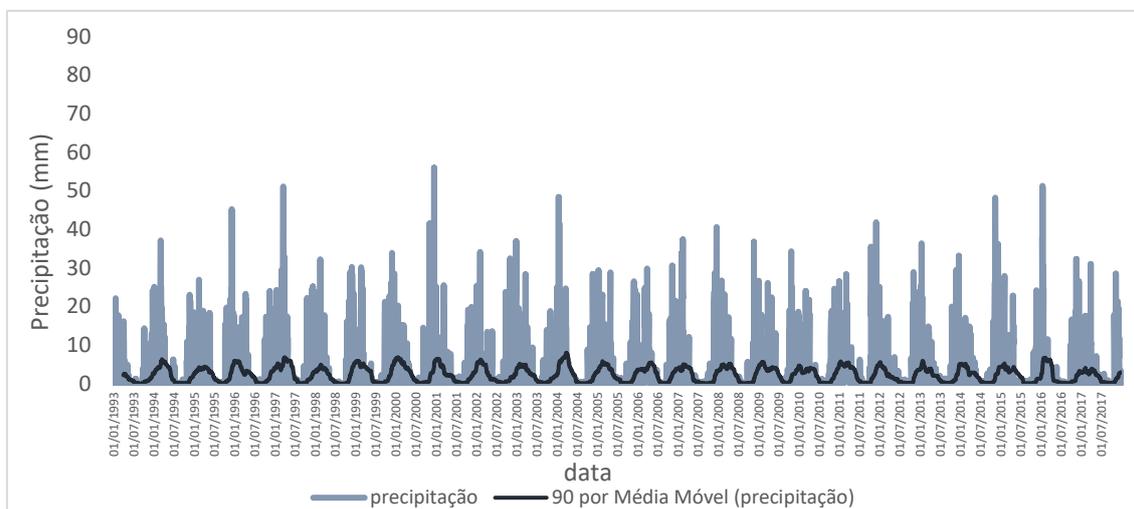
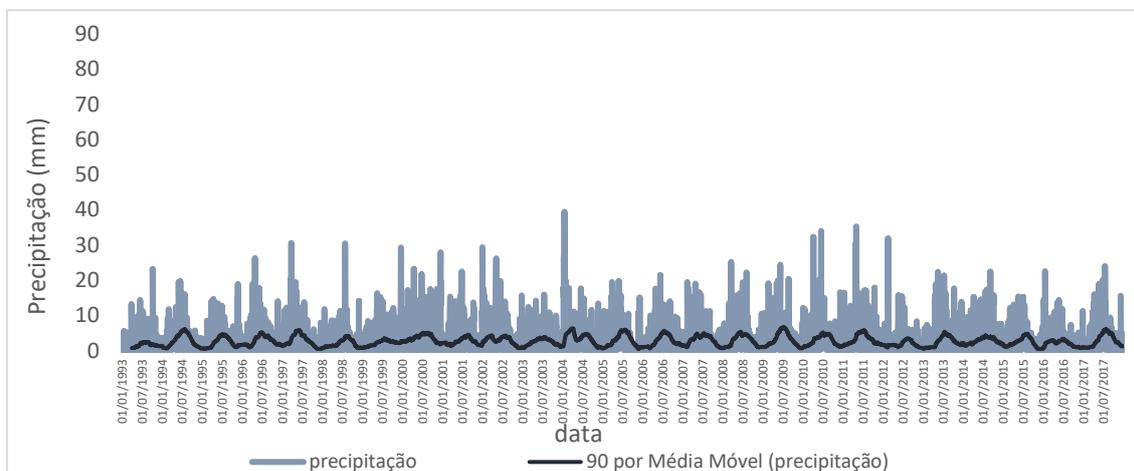


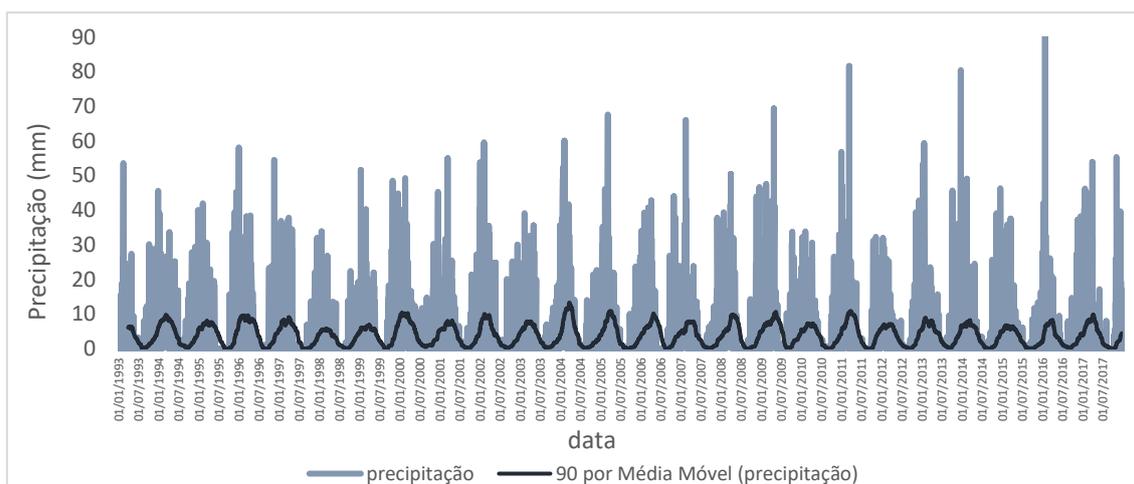
Figura 25 - Séries temporais diárias (1993-2017) de precipitação referentes aos tipos climáticos 1 (A), 2 (B), 4 (C), 5 (D), 6 (E), 7 (F), 8 (G) e 9 (H).

conclusão

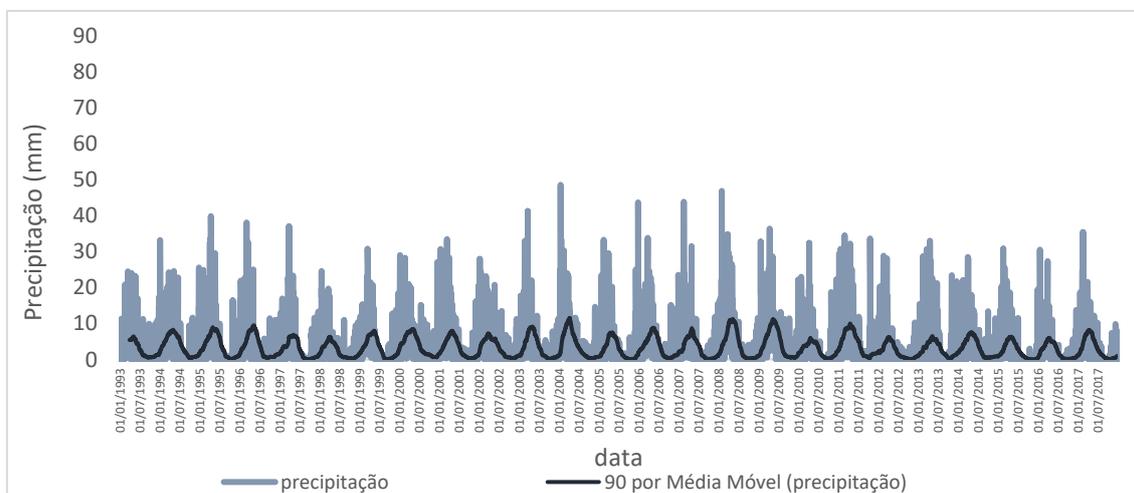
(F) Clima tropical semiúmido do NE oriental (tipo 7)



(G) Clima tropical semiúmido do NE ocidental (tipo 8)



(H) Clima tropical semiúmido do NE setentrional (tipo 9)



Fonte dos dados: BDMEP. Organizado pelos autores.

Em relação às tendências de precipitação detectadas, os resultados estão de acordo com o estudo de Carvalho et al. (2020), o qual identificou tendências negativas para as sub-regiões do NEB localizadas no interior do continente, a partir dos 150 Km da costa. A redução nos valores de precipitação diária, consonante com o aumento das temperaturas médias e redução da umidade relativa do ar, tenderá a agravar a deficiência hídrica nas paisagens semiúmidas e semissecas do NEB. Nesse sentido, Santos et al. (2010) concluíram que o aumento da evapotranspiração e diminuição da precipitação são esperados para o interior da Região Nordeste do Brasil até o final do século.

O estudo de Oliveira et al. (2017) demonstrou que a sub-região semiárida setentrional do NEB foi aquela que apresentou tendências significativas para diminuição da precipitação em distintas escalas temporais. As demais sub-regiões do NEB, analisadas por esses autores, apresentaram uma tendência geral de períodos secos mais severos e períodos chuvosos mais intensos, com aumento da variabilidade climática. Esses resultados assemelharam-se aos apresentados no presente estudo, quanto à detecção de tendências pluviométricas em sub-regiões climaticamente homogêneas do NEB.

Em relação à dinâmica climática regional, foram sistematizados os principais mecanismos associados às tendências detectadas. Nos subtipos climáticos setentrionais (tipos 1 e 9), foram verificadas tendências de aumento das temperaturas máximas e mínimas, redução dos valores de umidade relativa do ar e da precipitação. Portanto, houve uma convergência para diminuição da disponibilidade hídrica nessas sub-regiões. De acordo com os sistemas sinóticos e massas de ar identificados, na composição climática dessas sub-regiões, as tendências observadas são compatíveis com redução das frequências da ZCIT na composição dos tipos de tempo e com o aumento de atuação das massas de ar estáveis, como a mTA e a mTAC, relacionadas com tipos de tempos menos úmidos ou secos e com temperaturas médias mais elevadas.

Apesar das muitas incertezas existentes acerca das tendências de intensidade e variabilidade inter-hemisférica da ZCIT, Byrne et al. (2018) destacaram que as evidências existentes apontam para um estreitamento da área de atuação desse sistema sinótico e um fortalecimento da precipitação associada. Essas constatações podem estar relacionadas com a tendência observada na diminuição das chuvas diárias sobre o Nordeste setentrional e central, pois uma menor amplitude da migração inter-hemisférica teria efeitos negativos sobre as chuvas sobre o NEB.

O clima tropical úmido do NE oriental apresentou tendências significativas para aumento das temperaturas médias diárias e da umidade relativa do ar. Esses resultados,

discutidos anteriormente, podem estar relacionados a um maior transporte de umidade pela mTA para o leste da região, a partir da maior frequência de atuação do ASAS. Nesse sentido, o aumento da concentração de umidade relativa do ar nas estações localizadas a leste das escarpas de planalto, pela interação do relevo com a circulação atmosférica, seria uma explicação plausível. Portanto, essa tendência seria resultado de uma intensificação da circulação atmosférica típica dos meses de inverno, responsável por reter maiores teores de umidade na faixa leste do NEB.

Os subtipos climáticos orientais semiúmido e semisseco, apresentaram resultados de tendência consonante para as variáveis climáticas analisadas. Ambos seguiram a tendência regional de aumento das temperaturas máximas e não apresentaram significância de tendência para a precipitação diária média e umidade relativa do ar. Esses resultados, analisados isoladamente, não revelaram mudanças de padrão na dinâmica atmosférica.

O tipo climático semisseco NE central apresentou tendência de aumento das temperaturas e redução da precipitação diária. Relacionou-se aos tipos climáticos setentrionais e ocidentais quanto às possíveis mudanças na dinâmica atmosférica relacionadas ao aumento das temperaturas e redução das chuvas. Essa mudança estaria vinculada a um aumento dos tipos de tempo estáveis e quentes, e a uma redução na participação dos tipos de tempo instáveis.

Os subtipos climáticos do NE oriental apresentaram tendências significativas de aumento das temperaturas, diminuição de umidade relativa do ar e diminuição das médias diárias de precipitação. Tanto tipo climático 6 (semisseco), como o tipo climático 8 (semiúmido), são regidos pelos mecanismos físicos que caracterizam o regime sazonal do Brasil central. O aquecimento de verão e expansão da instabilidade relacionada à mEC e ZCAS seriam os principais mecanismos relacionados à produção de chuvas e ocorrência de tipos de tempo instáveis. Portanto, redução das médias diárias de chuva poderia se relacionar a uma diminuição de ocorrência desses tipos de tempo. Por outro lado, o aumento das temperaturas e redução da umidade atmosféricas poderiam ser explicados pela atuação mais frequente da mTAC e mTC.

### **5.2.9 Diagramas climáticos e vegetação potencial correspondente aos tipos climáticos sinóticos**

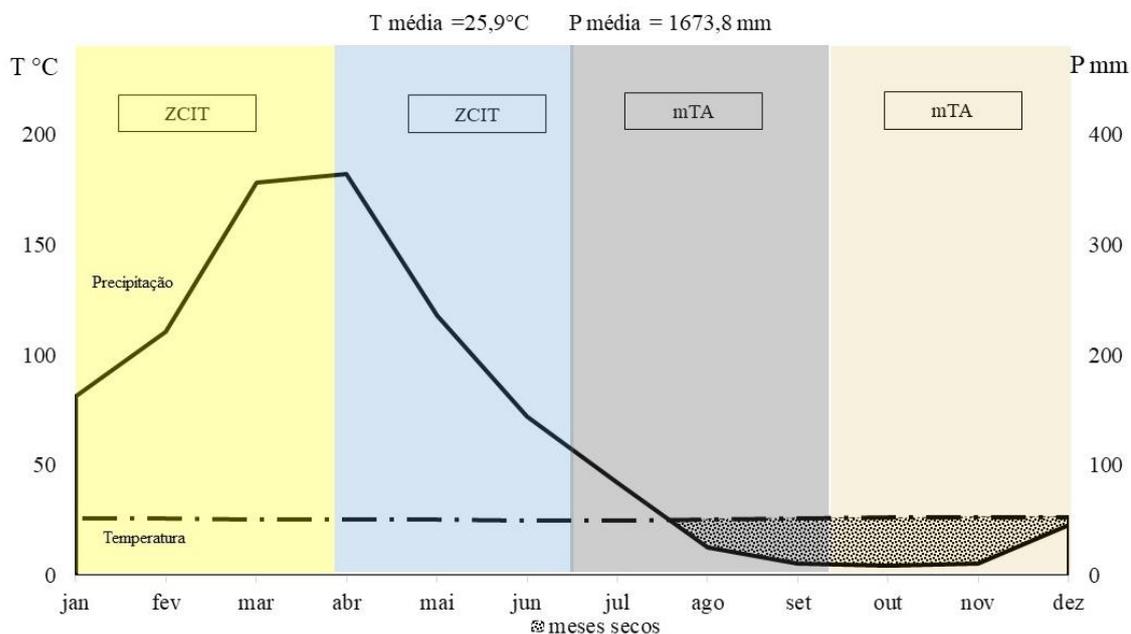
Os diagramas climáticos serviram para a delimitação dos períodos secos e a estimativa da vegetação potencial para os tipos climáticos. Para os grupos do clima tropical úmido do NE setentrional, foi observado um período úmido centrado nos meses de verão e outono, com média pluviométrica superiores a 300 mm entre os meses de março e abril (como consequência da

atuação da ZCIT). O balanço térmico pluviométrico, apresentado na Figura 26, sugere a ocorrência de 4 a 5 meses secos para este tipo climático nas estações de inverno e, principalmente, primavera. O período seco relacionou-se à atuação da mTA, que corresponde a condições atmosféricas estáveis ou com fraca instabilidade.

De acordo com as classificações de zonais de Walter (1986), Coutinho (2016) e Box (2016), o tipo climático úmido do NE setentrional pertence à faixa de transição entre a Zona climática I, das florestas e savanas pluviais, e a zona climática II, das florestas e savanas estacionais. Florestas Ombrófilas Abertas são potencialmente encontradas em áreas com ocorrência de até quatro meses secos. As Florestas Estacionais estão presentes a partir da ocorrência anual média de quatro meses secos. Portanto, esse tipo climático é potencialmente representando pelas categorias florestais Ombrófila Aberta e Estacionais, além de formações savânicas. Em relação aos volumes totais anuais médios de chuva, comparando ao esquema de Dexter et al. (2018), para o intervalo pluviométrico acima dos 1500 mm anuais há maior probabilidade de ocorrência de fitofisionomias associadas a Florestas Úmidas na região Tropical da América do Sul. Porém, considera-se uma área de intersecção entre fitofisionomias savânicas e florestais.

De acordo com a distribuição térmico-pluviométrica, essa classe climática pode ser caracterizada como um regime semiúmido, apesar da predominância de massas de ar úmidas ao longo de todo o ano. Os verões e outonos úmidos são notadamente influenciados pela ZCIT, enquanto que o inverno e a primavera, correspondentes à estação “seca” (com déficit hídrico), são caracterizados pelas condições climáticas úmidas e estáveis da mTA.

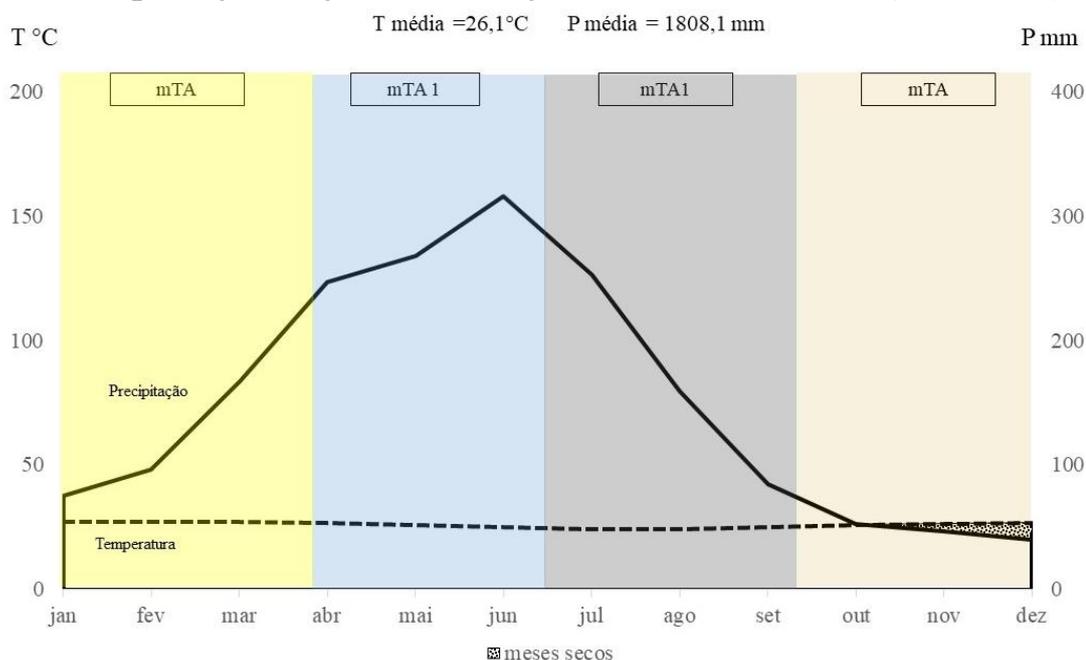
Figura 26 - Diagrama para clima tropical úmido do NE setentrional (1980 - 2017).



Legenda: ZCIT = Zona de Convergência Intertropical, mTA = massa Tropical Atlântica. A variação de cores representa o limite aproximado das estações do ano. Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

O clima tropical úmido do NE oriental apresentou marcada sazonalidade na distribuição das chuvas, com maiores volumes concentrados no outono e inverno. O balanço térmico pluviométrico, apresentado na Figura 27, não evidenciou, porém, ocorrência de períodos secos pronunciados. A primavera correspondeu à estação com menores precipitações médias, compreendendo o curto período seco nos meses de novembro e dezembro. Essas características permitiram inserir esse tipo climático na Zona I – das Florestas Pluviais Sempre Verdes (Walter, 1986; Coutinho, 2016). Portanto, potencialmente é esperada a ocorrência de Florestas Ombrófilas Densas e Abertas de Mata Atlântica, em virtude da grande disponibilidade hídrica anual e do período de estiagem de apenas 2 meses.

Figura 27 - Diagrama para o tipo climático tropical úmido do NE oriental (1980 - 2017).



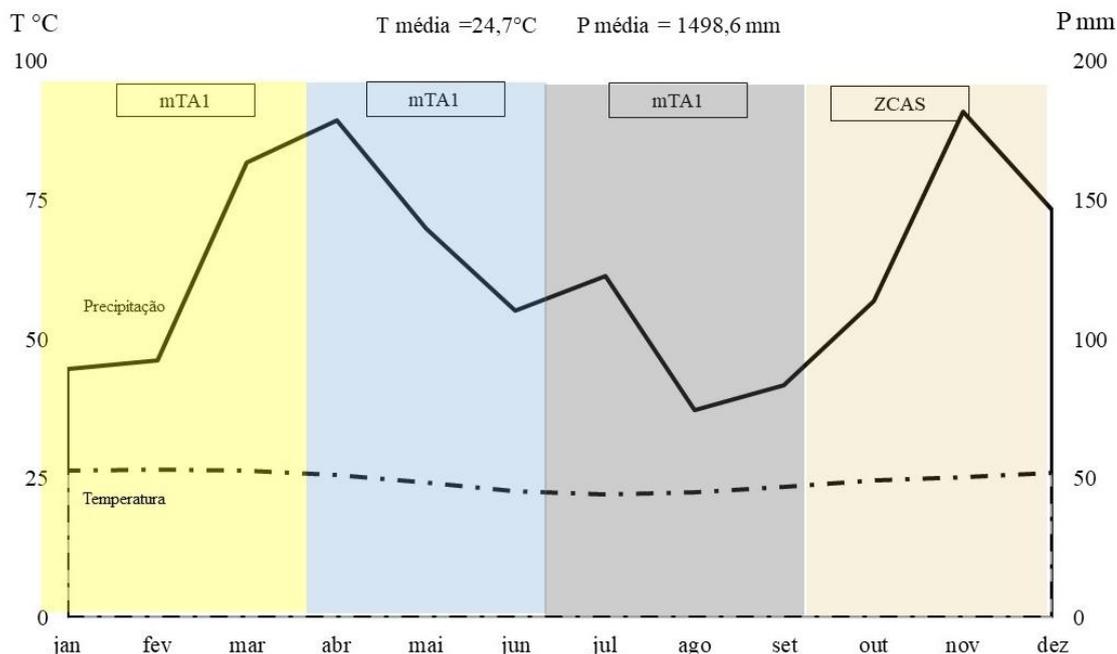
Legenda: mTA = massa Tropical Atlântica, mTA1 = massa Tropical Atlântica (úmida e instável). A variação das cores representa os limites aproximados das estações do ano.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

O diagrama climático referente ao tipo úmido do NE meridional, apresentado na Figura 28, não mostrou a ocorrência de período seco, em condições climáticas médias anuais. Nesse tipo climático, a atuação de massas de ar úmidas instáveis garantiu uma abundante ocorrência de chuvas ao longo do ano. Notadamente, a mTA1 (associada aos distúrbios de leste) e a ZCAS são os sistemas atmosféricos sinóticos responsáveis pela ocorrência de dois picos anuais de chuvas.

As condições climáticas observadas caracterizam o tipo climático 3 como pertencente a Zona Climática I, correspondente ao regime Tropical Pluvial (COUTINHO, 2016). Potencialmente, é esperada a ocorrência de Florestas Úmidas Sempre Verdes, com fitofisionomia Ombrófila Densa (IBGE, 2012), com faixa zonal correspondente às áreas tropicais úmidas sem ocorrência de estação seca.

Figura 28 - Diagrama para o tipo climático tropical úmido do NE meridional (1980 - 2017).

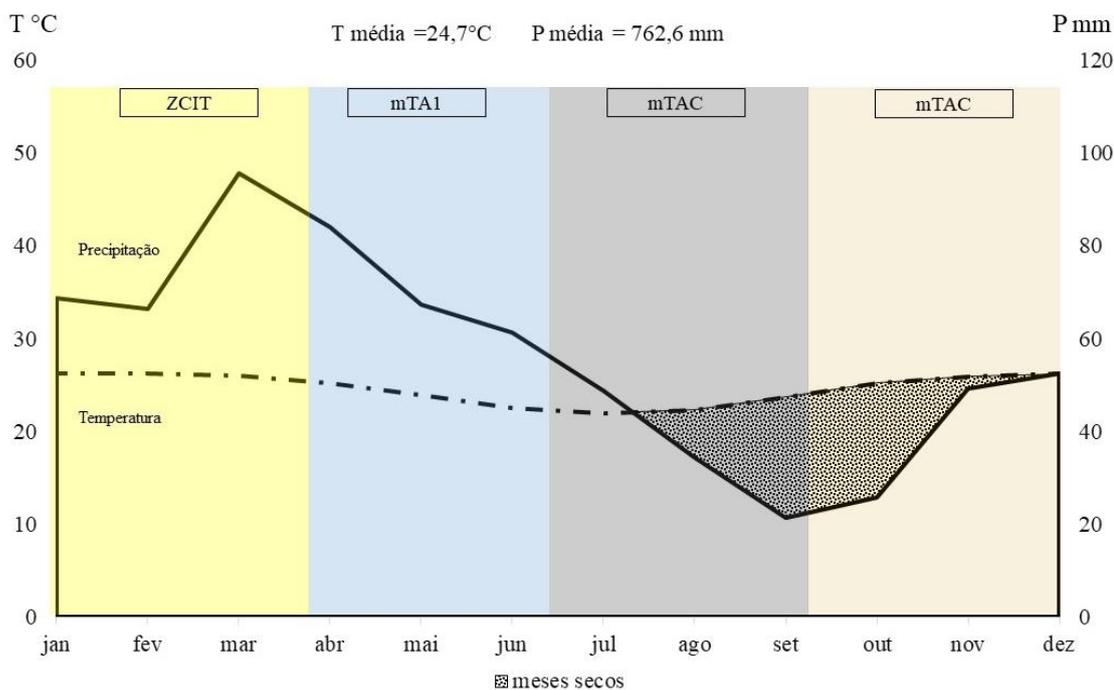


Legenda: mTA1 = massa Tropical Atlântica (úmida e instável) e ZCAS = Zona de Convergência do Atlântico Sul. A variação das cores representa do limite aproximado das estações do ano. Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

O clima tropical semisseco do NE oriental apresentou os maiores volumes de chuva entre o verão e o outono, com pico no mês de março, como consequência da atuação da ZCIT e da mTA1. O período seco entre o inverno e a primavera é caracterizado pela atuação da mTAC, relacionado aos tipos de tempo secos, quentes e estáveis.

O regime térmico pluviométrico médio, apresentado na Figura 29, foi marcado pela ocorrência de 5 a 6 meses secos, e um total pluviométrico médio de 762 mm. Essas condições atmosféricas foram associadas à Zona Climática II, das Florestas Tropicais Estacionais e Savanas. De acordo com os tipos de vegetação do IBGE (2012), as fitofisionomias potenciais estariam relacionadas a formações de Florestas Estacionais (Deciduais ou Semideciduais) ou à Savana (Cerrado), em função da delimitação do número de meses secos a partir da curva ombrotérmica. Em relação ao total pluviométrico anual, esse tipo climático apresenta maior probabilidade de correspondência com as fitofisionomias tropicais de Florestas Secas (Caatinga), de acordo com o estudo de Dexter et al. (2018). Segundo esses autores, a média anual de 1000 mm de chuva delimitaria, frequentemente, o bioma das Florestas Secas, com ocorrência mais abundante nas áreas tropicais com maiores deficiências hídricas, e limiar pluviométrico a partir dessa isoietta.

Figura 29 - Diagrama para o tipo climático tropical semissecado do NE oriental (1980 - 2017).



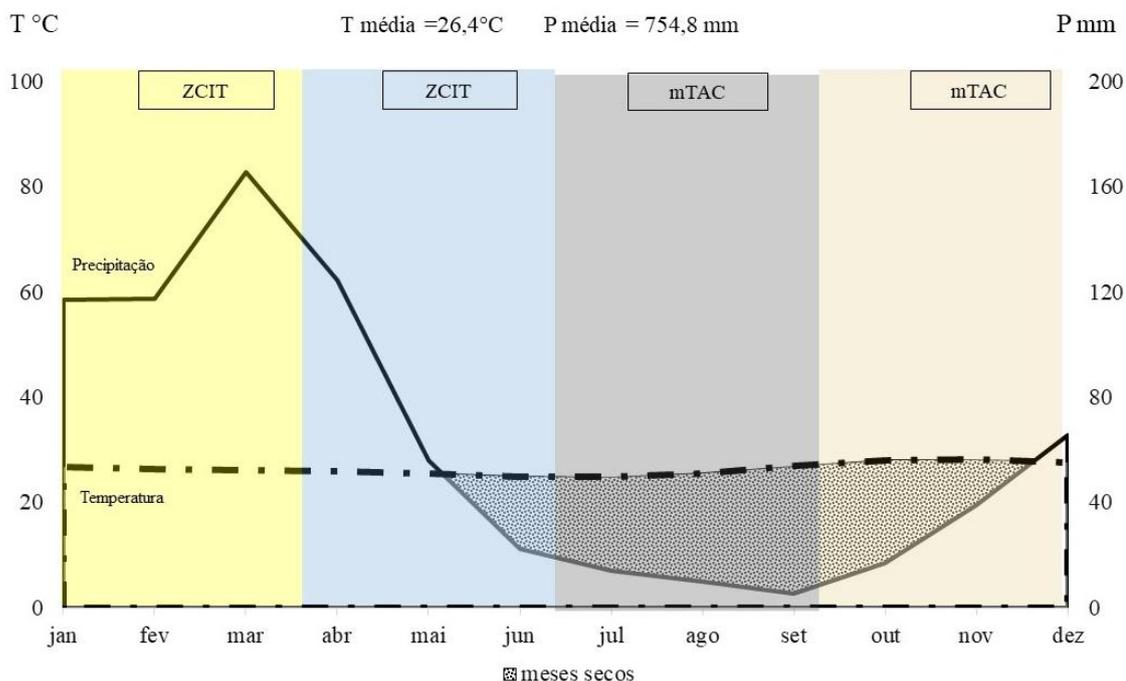
Legenda: mTA1 = massa Tropical Atlântica (úmida e instável), ZCIT = Zona de Convergência Intertropical, mTAC = massa Tropical Atlântica Continentalizada. A variação das cores representa do limite aproximado das estações do ano.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

O clima tropical semissecado do NE central foi caracterizado pela ocorrência anual de 5 a 6 meses secos entre o inverno e a primavera, com ampla atuação das condições atmosféricas anticiclônicas continentais da mTAC. O período chuvoso esteve concentrado no verão e outono, com pico em março, relacionado aos movimentos sazonais da ZCIT para o Hemisfério Austral.

As condições climáticas médias permitiram relacionar esse tipo climático com a Zona II – Tropical Estacional (Coutinho, 2016). Para essas relações térmico-pluviométricas, apresentadas na Figura 30, ocorrem potencialmente formações campestres savânicas (Cerrado) ou de Savanas-Estépicas (Caatinga) (IBGE, 2012). Na proposta de classificação de Silva Miranda et al. (2018), essas condições climáticas estariam relacionadas aos biomas de Florestas Tropicais Secas (Caatingas), ou ainda complexos florestais e arbustivos espinhosos (BOX, 2016).

Figura 30 - Diagrama para o tipo climático tropical semissecado do NE central (1980 - 2017).



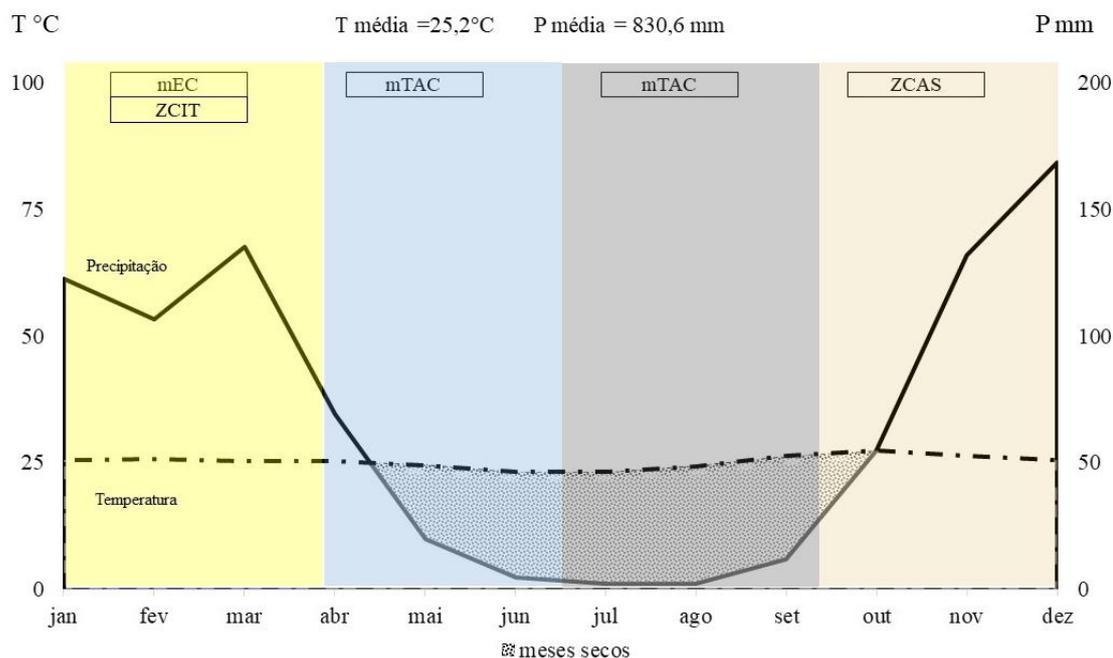
Legenda: ZCIT = Zona de Convergência Intertropical, mTAC = massa Tropical Atlântica Continentalizada. A variação das cores representa do limite aproximado das estações do ano.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

O tipo climático tropical semissecado do NE ocidental apresenta verões e primaveras chuvosas em decorrência da atuação da ZCIT, ZCAS e mEC, nos respectivos intervalos sazonais. As estações de outono e inverno foram marcadas por deficiências hídricas, e atuação de massas tropicais secas, com maior frequência da mTAC.

Foi delimitada a ocorrência anual de 6 meses secos entre maio e outubro. Esses regimes de chuvas e temperaturas médias mensais, apresentados na Figura 31, inseriram esse grupo climático na Zona II- Tropical Estacional, relacionada aos fitofisionomias de Savana (Cerrado) e Savana-Estéptica (Caatinga) (COUTINHO, 2016; IBGE, 2012). Os totais pluviométricos anuais médios de 830 mm foram relacionados a uma maior probabilidade de ocorrência do bioma de Caatinga (Floresta Seca) (DEXTER et al. 2018, SILVA MIRANDA et al., 2018). Destaca-se que nos limiares climáticos (principalmente delimitados pela chuva, entorno dos 1000 mm) as fisionomias vegetais podem ser determinadas pelas composições químicas pedológicas. Nos solos ricos em bases catiônicas (como nos afloramentos calcários) há maior probabilidade de ocorrência de Caatingas ou Florestas Secas, em solos pobres (mais ácidos), espera-se a ocorrências de Florestas Semidecíduas ou Savana (Cerrado) (DEXTER et al., 2018).

Figura 31 - Diagrama para o tipo climático semissecado do NE ocidental (1980 - 2017).



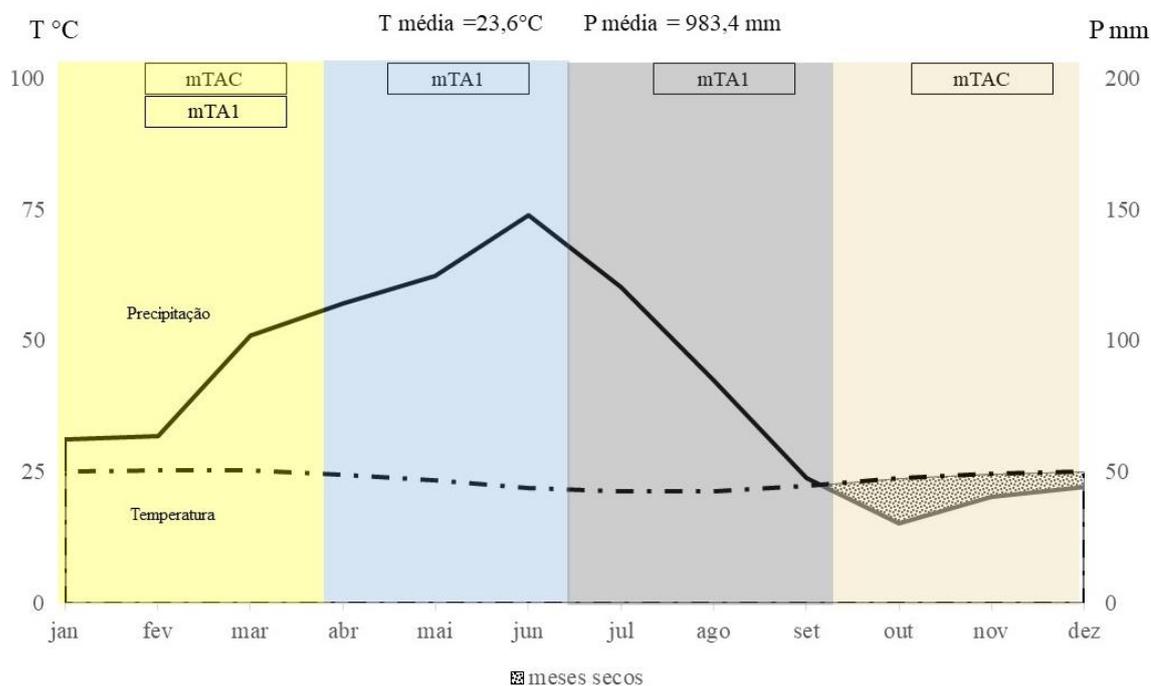
Legenda: ZCIT = Zona de Convergência Intertropical, ZCAS = Zona de Convergência do Atlântico Sul, mEC = massa Equatorial Continental, mTAC = massa Tropical Atlântica Continentalizada. A variação das cores representa do limite aproximado das estações do ano.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

O clima tropical semiúmido do NE oriental apresentou concentração sazonal das chuvas durante o outono e o inverno, a partir da atuação da mTA1. O período seco do ano, foi delimitado pela curva ombrotérmica, apresentada na Figura 32, entre setembro e dezembro, com dinâmica atmosfera estável, como resultado da expansão das condições anticiclônicas e tipos de tempo quentes e secos decorrentes da atuação da mTAC.

O regime climático descrito foi compatível com a Zona Climática II – Tropical Estacional, com florestas ou savanas. O período seco de 4 a 5 meses foi potencialmente relacionado às fitofisionomias de Florestas Ombrófilas Abertas, Florestas Estacionais e Savana (IBGE, 2012; COUTINHO, 2016). Os totais pluviométricos médios anuais (983 mm) indicaram uma maior probabilidade de ocorrência de Florestas Semidecíduas, Florestas Secas ou Savanas.

Figura 32 - Diagrama para o tipo climático semiúmido do NE oriental (1980 - 2017).



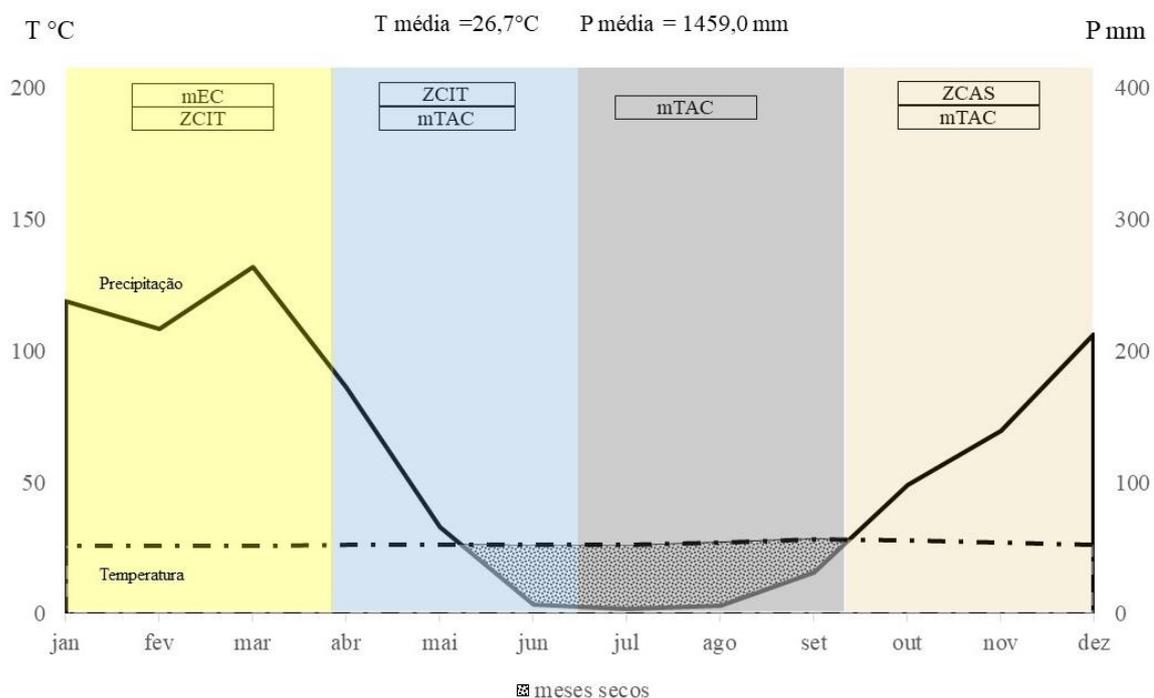
Legenda: mTA1 = massa Tropical Atlântica (úmida e instável), mTAC = massa Tropical Atlântica Continentalizada. A variação das cores representa do limite aproximado das estações do ano. Fonte dos dados: INMET.

Organizado pelo autor.

O clima tropical semiúmido do NE ocidental apresentou regime pluviométrico condicionado pela mEC, ZCIT e ZCAS, com máximos valores médios observados na primavera e no verão. O período seco, entre o outono e o inverno, foi caracterizado pela maior frequência tipos de tempo quentes e secos, resultantes da atuação da mTAC. A relação térmico-pluviométrica, apresentada na Figura 33, definiu 4 a 5 meses secos entre maio e setembro.

A Zona climática II – Tropical Estacional foi associada a esse grupo climático. As fitofisionomias de Florestas Estacionais Semidecíduais e Savanas foram condizentes com os filtros ambientais climáticos (IBGE, 2012; COUTINHO, 2016). O total pluviométrico médio de 1459 mm representou uma maior probabilidade de ocorrência de Florestas Úmidas, Decíduas e Savana (DEXTER et al., 2018).

Figura 33 - Diagrama para o tipo climático tropical semiúmido do NE ocidental (1980 - 2017).



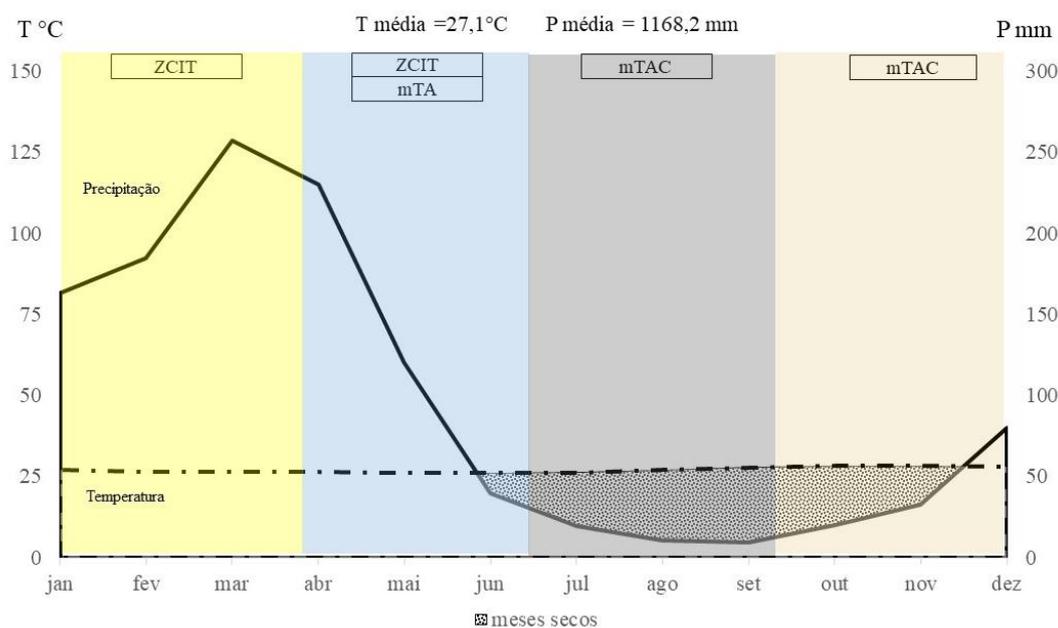
Legenda: ZCIT = Zona de Convergência Intertropical, ZCAS = Zona de Convergência do Atlântico Sul, mEC = massa Equatorial Continental, mTAC = massa Tropical Atlântica Continentalizada. A variação das cores representa do limite aproximado das estações do ano.

Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

O clima tropical semiúmido do NE setentrional apresenta o regime pluviométrico definido pela atuação da ZCIT entre o verão e o outono, com máximos valores médios de chuva no mês de março. Nesse grupo climático, a sazonalidade das chuvas foi acentuada, com grande concentração nas referidas estações do ano mais chuvosas. O período seco foi caracterizado pela atuação da mTAC, no inverno e na primavera. A curva ombrotérmica, apresentada na Figura 34, definiu a existência de 6 meses secos, em média, ao longo do ano.

Esse grupo climático inseriu-se na Zona Climática II – Tropical Sazonal, com florestas estacionais e savanas (COUTINHO, 2016). A ocorrência dos meses secos foi confluyente com o a distribuição biogeográfica de Florestas Estacionais Semidecíduais e Decíduais, e de Savanas e Savana-Estépica (Caatinga) (IBGE, 2012). De acordo com o esquema de Dexter et al. (2018), o valor médio de precipitação de 1168 mm é compatível com as fisionomias de Florestas Semidecíduais, Savanas (Cerrado) e Florestas Secas (Caatinga). Portanto, os elementos climáticos caracterizaram potencialidade de ocorrência de tipos de vegetação tropical sazonal diversificados.

Figura 34 - Diagrama para o tipo climático semiúmido do NE setentrional (1980 - 2017).



Legenda: ZCIT = Zona de Convergência Intertropical, mTA = massa Tropical Atlântica, mTAC = massa Tropical Atlântica Continentalizada. A variação das cores representa do limite aproximado das estações do ano.  
Fonte dos dados: INMET. Organizado pelo autor.

### 5.2.10 Regionalização climática

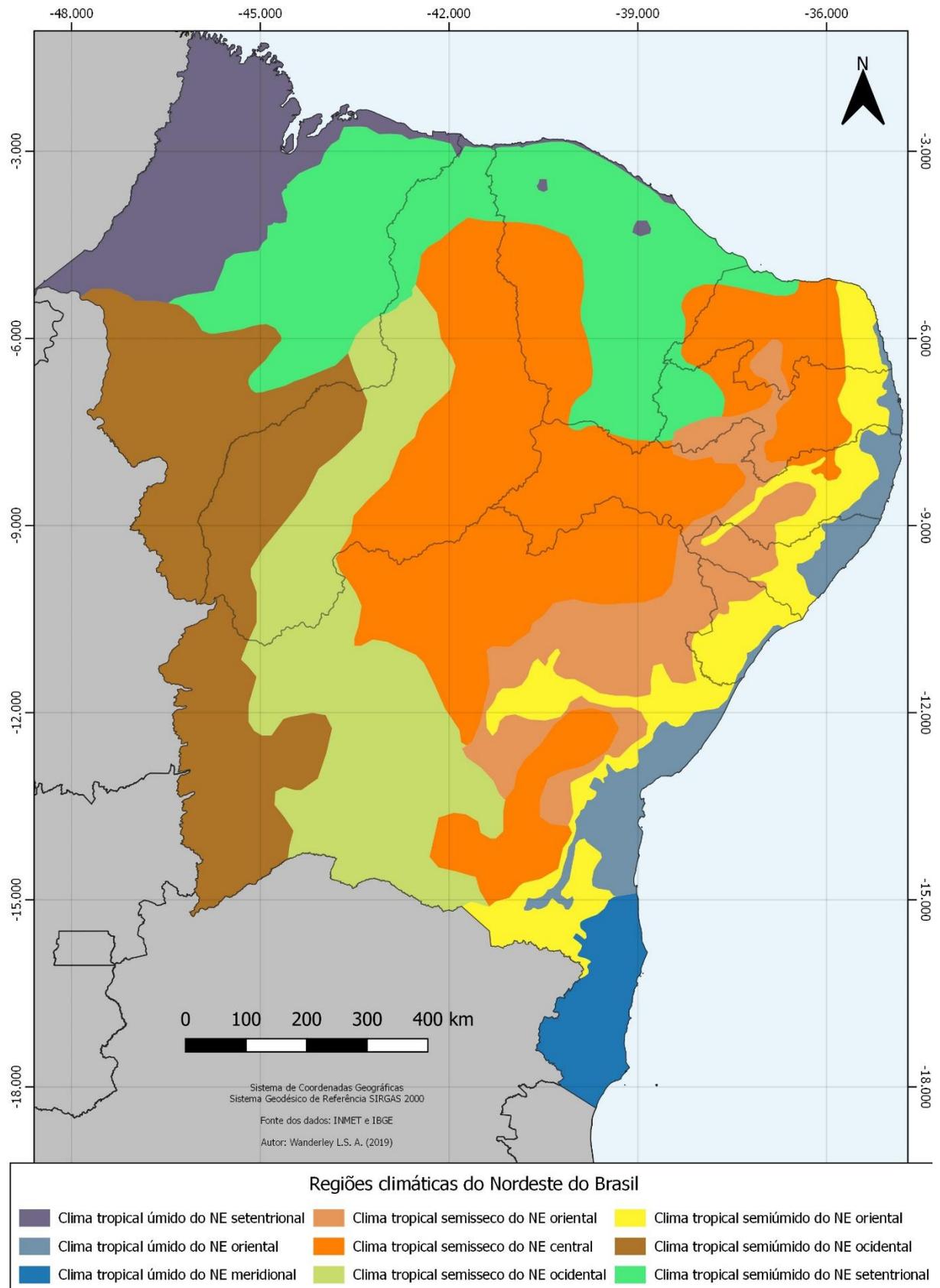
A regionalização climática para o NEB, apresentada na Figura 35, permitiu analisar a dinâmica das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados a partir do mapeamento dos limites entre as classes climáticas, relacionando-as aos principais tipos de vegetação e as variações topográficas regionais. A proposta de classificação apresentou a escala de análise sinótica, compreendendo a gênese dos principais tipos de tempo relacionados às massas de ar e sistemas sinóticos individualizados.

Os tipos de tempo foram abordados a partir de uma análise multivariada, levando em conta que os tipos climáticos são resultado de interações diversas entre os elementos do clima. Após a identificação dos principais mecanismos atmosféricos de escala regional, investigou-se as distinções climáticas locais, considerando a existência de resposta do sistema climático aos fatores geográficos (topografia, maritimidade, continentalidade e vegetação) do NEB (ANDRADE, 1972; NIMER, 1979).

Quando comparada a regionalizações anteriores (Strahler, 1969; Andrade, 1972; Nimer, 1979; Alvares et al. 2014 e Dubreuil et al. 2018), a proposta atual apresenta distinções na delimitação das regiões climáticas decorrentes dos métodos utilizados e das escalas de análise. De maneira geral, as regionalizações foram direcionadas ao Brasil, ou, no caso de Strahler

(1969) a toda superfície continental do planeta, sendo evidentes as distinções entre os limites das áreas referentes às regiões climáticas, por consequência de diferenças nas escalas de análise.

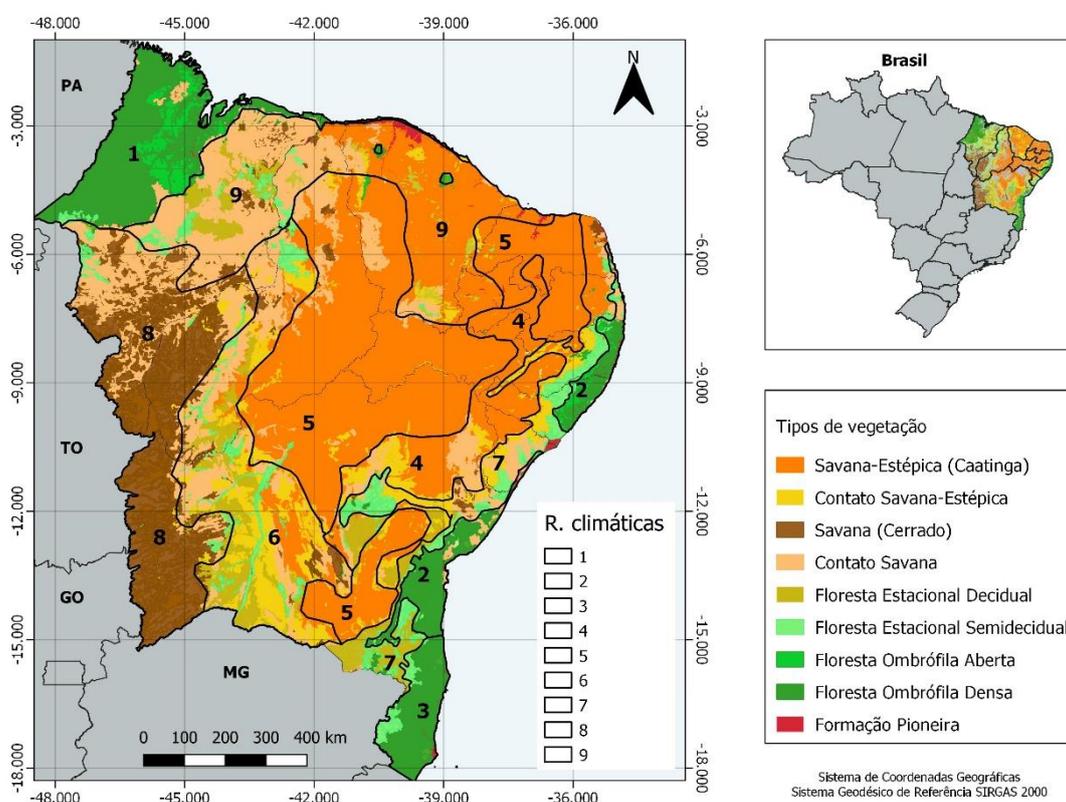
Figura 35 - Regiões climáticas do Nordeste Brasileiro (1980 - 2017).



Organizado pelo autor.

Em relação aos fatores geográficos utilizados no detalhamento cartográfico das regiões climáticas, constatou-se uma relação mais evidente da vegetação (cobertura primitiva) com a distribuição espacial das classes climáticas. A Figura 36 apresenta os limites das regiões climáticas sobre as classes de vegetação no NEB. A correspondência observada decorre da maior relação existente entre os fatores zonais da paisagem, como clima, vegetação e os tipos de solos. Nesse sentido, a vegetação é um componente da paisagem considerado sensível ao comportamento habitual das variáveis atmosféricas (WALTER, 1986; CAVALCANTI, 2016; COUTINHO, 2016).

Figura 36 - Sobreposições das regiões climáticas (1980 - 2017) sobre os tipos de vegetação (com cobertura primitiva) do Nordeste Brasileiro.



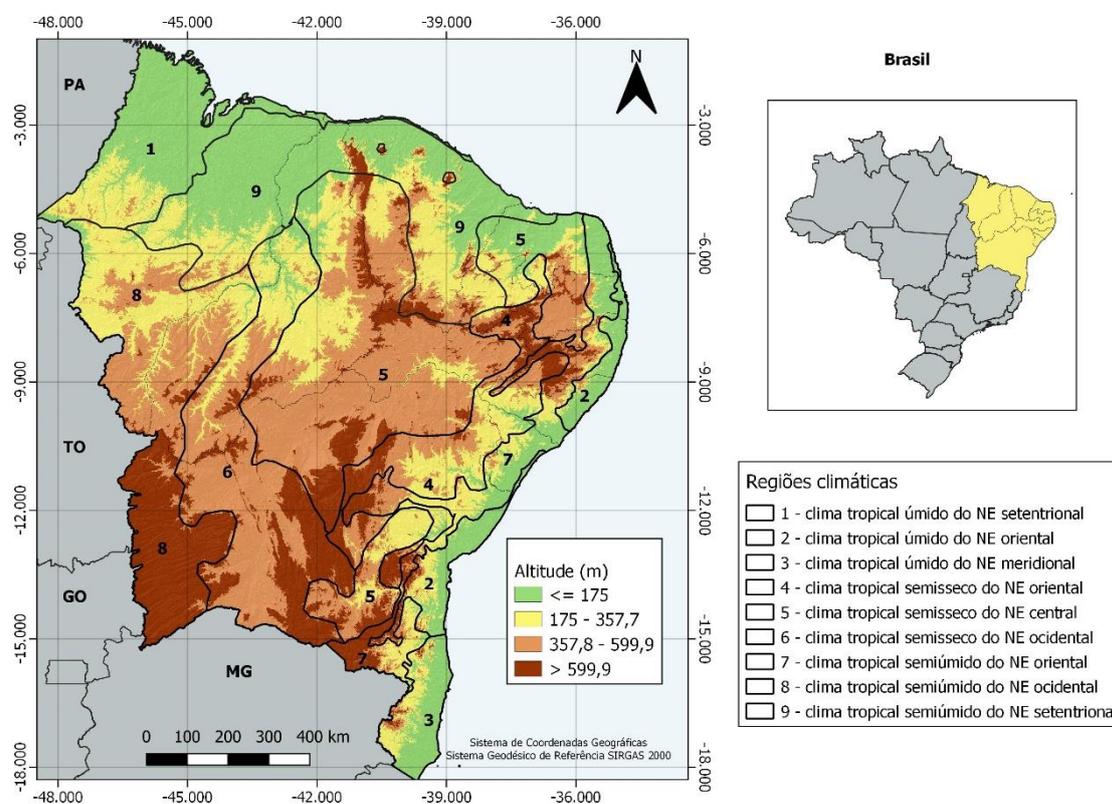
Legenda: 1-clima tropical úmido do NE setentrional, 2- clima tropical úmido do NE oriental, 3-clima tropical úmido do NE meridional, 4-clima tropical semisseco do NE oriental, 5-clima tropical semiúmido do NE central, 6-clima tropical semisseco do NE ocidental, 7-clima tropical semiúmido do NE oriental, 8-clima tropical semiúmido do NE ocidental, 9-clima tropical semiúmido do NE setentrional.

Fonte dos dados: IBGE, INMET. Organizado pelo autor.

Na Figura 37, as regiões climáticas foram sobrepostas aos valores de altitude do território do NEB. A partir da comparação entre a localização das estações meteorológicas e os níveis topográficos, conclui-se que não há um padrão claro entre os tipos climáticos e os valores de altitude. Porém, ao analisar a orientação dos platôs de relevo, que compõem as terras altas,

foi possível verificar respostas da interação entre as massas de ar e as proeminências topográficas. As áreas elevadas com orientação paralela à linha de costa, formam barreiras às massas com origem no ASAS, e produzem efeitos opostos sobre as encostas à sotavento e à barlavento. As amplas depressões do Nordeste setentrional, entre o Maranhão e o Rio Grande do Norte, favorecem a penetração dos pulsos da ZCIT, durante o verão e outono, nos vales dos rios Parnaíba, Jaguaribe e Piranhas. De maneira oposta, as serras orientadas de L-O, dificultam a entrada dos sistemas convectivos de NE (ANDRADE, 1972).

Figura 37 - Sobreposição das regiões climáticas (1980 - 2017) sobre as classes de topografia do Nordeste Brasileiro.



Fonte dos dados: IBGE. Organizado pelo autor.

### 5.2.10.1 Climas tropicais úmidos

Os climas tropicais úmidos estiveram distribuídos em três regiões climáticas. Esses tipos climáticos, predominaram ao longo das faixas litorâneas orientais e setentrionais do NEB, e estiveram amplamente influenciados pelas massas de ar tropicais úmidas de origem oceânica. As classes úmidas representaram 13,7% da área total da Região Nordeste do Brasil.

Entre as categorias úmidas, a região do clima tropical úmido do NE setentrional apresentou a maior área percentual, ocupando 7,8% do território da Região Nordeste. Ao longo do litoral do Ceará e Piauí os ventos alísios úmidos de leste se deslocam durante o ano, quase de modo paralelo à costa. A umidade oceânica pouco penetra no interior continental, com exceção das áreas elevadas, a exemplo do maciço de Baturité no nordeste do Ceará, onde os limites dessa classe climática desviam um pouco dos contornos litorâneos. Nessas elevações do relevo, o ar é forçado a subir nas encostas à barlavento, esfriando-se adiabaticamente e ocasionando o aumento da umidade relativa e chuvas orográficas. No noroeste do Maranhão encontra-se a maior extensão dessa classe climática sobre o interior do continente, onde a menor atuação da mTAC decorre do enfraquecimento da subsidência atmosférica, favorecendo a penetração da umidade sobre o continente. O trecho da costa setentrional do NEB entre o Ceará e Piauí foi classificado em regionalizações anteriores como domínio do clima sazonalmente úmido (ANDRADE, 1972; NIMER, 1979; ALVARES et al. 2014; DUBREUIL et al. 2018). Essas classificações levaram em conta, prioritariamente a distribuição sazonal das chuvas.

A proposta de Novais (2019) considerou que parte desse domínio climático pertencia ao controle zonal dos climas equatoriais. Esse autor utilizou como critério de classificação a atuação da ZCIT como principal mecanismo produtor de chuvas. Segundo essa análise, os domínios climáticos com período chuvoso entre março e maio, localizados no NE setentrional, pertenceriam à zona de dinâmica atmosférica equatorial. Na proposta atual, o critério de delimitação dos domínios zonais foi distinto daquela abordagem, uma vez que se considerou a região de origem das massas de ar predominantes para cada região climática na delimitação do domínio zonal. Na região 1, a mTA, com origem no ASAS, foi a massa de ar com maior frequência média anual, caracterizando uma dinâmica climática predominante com gênese relacionada a uma massa de ar de origem tropical.

A presente proposta considerou a atuação de massas de ar úmidas (elevados valores de umidade relativa em superfície) ao longo de todo o ano na região úmida do NE setentrional, que ocupou pequenas extensões entre o litoral do Ceará e Piauí. Destaca-se que no período com menores valores de precipitação média, na estação de primavera, foram registrados (para a janela sazonal) tipos de tempo úmidos e estáveis, consequentes da atuação da mTA. Os trechos úmidos no noroeste do estado do Maranhão também possuem regime sazonal das chuvas, com curto período de estiagem na primavera. Massas de ar de origem tropical, prioritariamente, e equatorial úmidas controlam a dinâmica atmosférica dessa região climática.

A região climática 1 foi relacionada preferencialmente a formações de Florestas Ombrófilas, Densas ou Abertas, sobre as terras baixas, excetuando as áreas de maciços

residuais, no norte do estado do Ceará que superam os 600 m de altitude. A distribuição dessas fitofisionomias foi coerente com a descrição potencial dos tipos de vegetação a partir do esquema de Dexter et al. (2018). De acordo com a curva ombrotérmica (COUTINHO, 2016), havia a possibilidade maior de ocorrência de Florestas Estacionais ou Savanas, que ocorreram em áreas menos representativas. Os filtros climáticos decorrentes da presença desse tipo de fitofisionomia demarcam períodos secos mais curtos do que os observados, que podem estar relacionados à capacidade de armazenamento de água nos solos, a partir da grande disponibilidade pluviométrica sazonal.

O clima tropical úmido do NE oriental foi mapeado nas terras baixas litorâneas entre os estados do Rio Grande do Norte e da Bahia, representando 3,4% da área do NEB. O frequente transporte de umidade oceânica pelos ventos alísios de leste e sudeste constitui a característica mais marcante desta região climática (Strahler, 1969; Andrade, 1972; Nimer, 1979). Portanto, a gênese dessa região climática esteve fortemente associada à atuação das camadas úmidas da mTA. Durante todo o ano, a atuação do mecanismo físico das brisas favorece a elevada concentração de chuvas ao longo da faixa leste litorânea da Região Nordeste. Durante os períodos de maior concentração de chuvas, no outono e inverno, a atuação das brisas terrestres nas primeiras horas da manhã amplifica a convecção modulada pelas perturbações nos dos alísios (MOLION e BERNARDO, 2002). Os curtos períodos secos, com auge entre a primavera e o verão, foram caracterizados pela atuação da mTA (úmida e estável).

A espacialização desse grupo climático apresentou maiores similaridades com o mapeamento de Nimer (1979). Em ambas as regionalizações os climas mais úmidos da faixa leste do NEB estão compreendidos entre a planície costeira e os primeiros contrafortes planálticos, em duas áreas: uma entre o estado de Pernambuco e o norte de Alagoas, e uma segunda faixa no litoral do estado da Bahia. A prevalência desses tipos climáticos, onde as escarpas planálticas aproximam-se da linha de costa, foram discutidas por Diniz e Souza (2019). Nessas áreas, o maior gradiente topográfico barra os ventos alísios de E-SE e favorece a concentração de chuvas ao longo do litoral e Zona da Mata. Quando os distúrbios dos alísios alcançam a região costeira do NE oriental, esses sistemas interagem com a circulação local, a qual pode ser induzida pelas brisas ou pelo relevo, intensificando a convergência em baixos níveis e, como resultado, ocorre uma maior concentração das chuvas sobre as proximidades da faixa litorânea. Esse mecanismo está relacionado a 60% da precipitação registrada ao longo das estações meteorológicas localizadas no leste do NEB (GOMES et al. 2019).

Essa região climática foi associada à ocorrência de Florestas Ombrófilas Densas e Abertas, representantes do bioma de Mata Atlântica (IBGE, 2012; COUTINHO, 2016). As

áreas com maiores penetrações continentais de formações florestais Ombrófilas Densas coincidiram com os trechos em que a variação topográfica da planície litorânea para as terras altas à montante ocorre de maneira mais abrupta. A exemplo do que ocorre entre o Zona da Mata sul de Pernambuco e Norte de Alagoas, onde a orientação sudoeste-nordeste (SO-NE) das encostas do planalto da Borborema contribui para a interceptação, os ventos alísios de SE aumentam a concentração de umidade atmosférica à barlavento.

O tipo climático 3 teve como área mapeada o litoral meridional do estado da Bahia e representou 2,5% do território do NEB. A dinâmica climática é similar àquela observada no tipo climático 2, com forte influência dos ventos alísios úmidos. Durante o verão, a dinâmica atmosférica difere-se do tipo 2 pela atuação da ZCAS, contribuindo para uma melhor distribuição das chuvas ao longo do ano. Nimer (1979) classificou essa região como do tipo superúmido, sem estação seca. Alvares et al. (2014) mapearam-na com limites similares aos delimitados para a região climática Af de sistema de Köppen, clima megatérmico sem estação seca. O relevo do Planalto Sul Baiano com orientação SO-NE favorece a elevada umidade ao longo da faixa litorânea à barlavento, em relação aos alísios de SE. Essa região climática foi mapeada seguindo os contornos predominantes da Floresta Ombrófila Densa, relacionada ao elevado índice pluviométrico e distribuição regular das chuvas, sem ocorrência de estação seca. Essa sobreposição fitoclimática esteve consonante com a estimativa da vegetação potencial apresentada na seção anterior.

#### 5.2.10.2 Climas tropicais semissecos

A regionalização climática apresentou uma predominância de climas controlados pela maior frequência anual de massas de ar secas, representando 47,8% da área total do NEB. A gênese das regiões climáticas tropicais semissecas, adotadas no presente estudo, esteve consonante com as teorias, que explicam os mecanismos físicos atmosféricos, relacionados à atuação da massa de ar continentalizada representada pelos alísios de leste e sudeste oriundos do ASAS, em interação com as unidades de relevos regionais (ANDRADE, 1972; NIMER, 1979; REBOITA et al., 2016). Todavia, a nomenclatura da mTAC, utilizada na proposta atual, está de acordo com a proposta de Fontão e Zavattini (2007). Os ventos alísios provenientes do ASAS estão caracterizados por apresentar camadas de ar horizontais com características físicas distintas. A camada inferior, úmida, gera instabilidade sobre a faixa litorânea oriental. As camadas superiores apresentam movimento subsidente que provocam a configuração de uma camada de inversão térmica, por aquecimento adiabático, que está relacionada a condições

quentes e secas. Ao interagir com o relevo e a continentalidade, sobre a Região Nordeste, essa camada seca passa a gerar estabilidade atmosférica, ocasionando tipos de tempo secos e quentes sobre a superfície. Esse tipo de tempo domina a climatologia regional das amplas áreas que compõem as regiões semissecas.

As classes semissecas mapeadas no presente estudo, foram mais amplas do que as equivalentes regiões semiáridas, apresentadas nas classificações anteriores dos trabalhos de Andrade (1972), Nimer (1979), Strahler (1969), Alvares et al. (2014) e Dubreuil et al. (2018). Destaca-se que a frequência de atuação dos sistemas sinóticos não necessariamente é refletida nos totais pluviométricos (variável climática mais utilizada nas diferenciações dos domínios climáticos tropicais) observados, apesar de terem sido identificadas relações. Esse é um ponto de possível divergência entre as classificações sinóticas de tipos de tempo e aquelas de base estática, que utilizam como dados de entrada, mais frequentemente, a temperatura e a precipitação. Regiões com alta frequência anual de atuação da mTAC, no caso dos climas semissecos, podem apresentar altos valores de precipitação sazonal em virtude da atuação, mesmo que irregular, de sistemas sinóticos que favorecem ou modulam o desenvolvimento de instabilidade convectiva como a mEC, ZCAS ou ZCIT. Portanto, a classificação sinótica reflete, de modo predominante, os tipos de tempo mais frequentes, enquanto que as de base estática priorizam o balanço térmico - pluviométrico. Esse fato está relacionado com a maior área ocupada pelas regiões climáticas semissecas do presente estudo, quando comparada aos estudos anteriores.

A região climática 4, marcada por maior presença dos tipos de tempo transitórios da massa Tropical Atlântica durante o inverno (quando comparada às demais regiões semissecas), não apresentou conformidade quanto à ocorrência em terras altas e baixas. Essa região esteve relacionada às terras altas do Planalto da Borborema e Chapada Diamantina, sendo o domínio mais recorrente das serras secas, com representação percentual de 7,8% do território do NEB. Sobre o interior dos estados de Alagoas, Sergipe e Bahia, onde não ocorrem terras altas na transição climática entre as áreas semiúmidas e semissecas, essa classe climática ocorre como transitória entre os tipos de clima 5 e 7 em terras baixas. A Caatinga foi a classe de vegetação predominante nessa região climática, sugerindo ocorrência de períodos secos habitualmente iguais ou superiores a cinco meses por ano. Também foram associadas a essa região climática, áreas de contato da vegetação de Caatinga e Cerrado com as formações florestais. Essa distribuição fitoclimática apresentou coerência com os tipos potenciais de vegetação, estimados para fisionomias de Caatinga (Savana-Estépica), Florestas Estacionais ou Savanas (Coutinho, 2016).

Nos estudos que utilizaram o esquema de Köppen como metodologia de regionalização (Andrade, 1972; Alvares et al. 2014; Dubreuil et al. 2018), a região climática 4 aparece, em parte, englobada pelos contornos regionais da categoria subúmida (As), e em parte pela semiárida (BSh). Na proposta de Nimer (1979), essa classe esteve representada, preferencialmente, pelos domínios semiáridos, com diferentes durações de períodos secos.

Apesar de métodos distintos de classificação, a proposta atual apresentou semelhanças com a classificação apresentada por Alvares et al. (2014), quanto aos limites das classes semiáridas (BSh), apresentadas no referido estudo, e à classe tropical semisseca do NE central, apresentada no estudo atual. As relações entre a temperatura e a pluviosidade foram coincidentes com as relações entre as diversas variáveis descritivas das massas de ar utilizadas. A frequente atuação da mTAC nessa região climática, resulta nas mais elevadas temperaturas máximas médias e nos menores volumes médios de precipitação, o que explica a coincidência entre os limites mapeados.

O clima tropical semisseco do NE central representou 26,3% da área do NEB e apresentou intersecções com amplas áreas de terras baixas, constituídas pelas depressões interplanálticas semiáridas (AB´SABER, 2003), e terras altas de encostas à sotavento. Essa região climática também esteve relacionada ao domínio das Savanas-Estépicas (Caatingas), em concordância com a vegetação potencial estabelecida anteriormente. Esse tipo climático foi mapeado em três áreas descontínuas. A maior delas compreendeu o oeste do estado Pernambuco, leste do Piauí, oeste do Ceará e norte da Bahia, ocupando as amplas depressões do interior do NEB. A segunda área ocupou extensões de terras baixas entre o interior e litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte, alongando-se por terras baixas de depressões no interior do Planalto da Borborema nos estados da Paraíba e Pernambuco. A terceira área da região 5 foi mapeada no sudeste do estado da Bahia, com influência da circulação atmosférica à sotavento do Planalto Sul Baiano. O principal mecanismo responsável pela ocorrência das chuvas nessa região climática é ZCIT, que atua em curto intervalo de tempo entre os meses de janeiro e maio, por meio de regime torrencial de precipitação.

A região do clima semisseco do NE ocidental (6) esteve influenciada pelas atuações da mEC durante o verão e ZCAS e ZCOU na primavera. Esses sistemas atmosféricos, relacionados ao período chuvoso, diferenciam essa classe climática dos tipos semissecos descritos anteriormente, que possuem o período úmido controlado pela ZCIT e mTA1. Na região 6, que ocupa uma área percentual de 13,6% do NEB, o outono e o inverno são as estações mais secas, quando o ASAS se expande sobre o continente e os tipos de tempo relacionados à subsidência atmosférica da mTAC passam a predominar.

Essa região climática foi recorrentemente classificada como subúmida em sínteses anteriores (Nimer, 1979; Alvares et al. 2014, Dubreuil et al. 2018), todavia, a frequência predominante de tipos de tempo quentes e secos justificou sua categorização como semisseca no presente estudo. Na síntese climática de Novais (2019), essa região climática, foi mapeada com área similar, e foi classificada como o *Domínio Tropical Seco Nordestino*. Nessa perspectiva, a região seria controlada por sistemas sinóticos tropicais sazonais, apresentando período seco anual superior a 8 meses. No Bioma Cerrado (recorte regional de análise proposta por Novais, 2019), esse clima seria a classe mais seca, em transição para a Caatinga.

Essa região climática distribui-se de modo mais frequente pelas terras baixas entre o interior da Bahia e Piauí, ocorrendo menos frequentemente nas escarpas e terras altas ocidentais da Chapada Diamantina e Serra do Espinhaço. As terras altas centrais do território baiano bloqueiam a passagem das massas úmidas atlânticas durante o inverno, ao mesmo tempo em que favorecem o movimento atmosférico subsidente à oeste desses platôs elevados. De maneira análoga, o Chapadão Ocidental do Rio São Francisco, diminui a intensidade das intrusões de mEC, a leste dessas elevações. Predominaram na região climática 6 classes de vegetação de Florestas Estacionais Deciduais, Caatinga e áreas de contato entre a Savana (Cerrado) e a Savana-Estépica (Caatinga), caracterizando zonas de tensão ecológica. Os limites fitoclimáticos estabelecidos previamente estão concordantes com a sobreposição entre as estações e os tipos de vegetação do IBGE (2012).

### 5.2.10.3 Climas tropicais semiúmidos

As classes climáticas semiúmidas estiveram distribuídas em três regiões (oriental, ocidental e setentrional). Essas regiões climáticas representaram 38,5% da área da Região Nordeste. A principal característica dessas classes climáticas foi a alternância sazonal na disponibilidade de umidade.

O clima tropical semiúmido do NE oriental é marcado pela alternância de atuação das camadas secas e úmidas da massa Tropical Atlântica. No período úmido (outono e inverno), os distúrbios de leste dos alísios e o efeito das brisas ocasionam os maiores valores de chuvas. A primavera e o verão são os períodos de estiagem, quando a mTAC desloca-se para leste, atuando mais próxima à faixa litorânea. Essa região climática representou 7,2% da área do NEB, ocorrendo entre o estado do Rio Grande do Norte e da Bahia, como uma classe climática de transição entre os climas úmidos litorâneos e os climas semissecos. Esse tipo climático foi mapeado com área mais ampla nas propostas de Andrade (1972) e Alvares et al. (2014). Na

síntese climática regional de Nimer (1979) essa região mais se aproximou dos limites estabelecidos no estudo presente. O tipo climático 7 ocorre, segundo apresentado na atual regionalização, nas terras baixas, escarpas e em pequenos trechos de terras altas do NE oriental.

Entre as particularidades observadas para essa região climática, constatou-se que entre os estados de Alagoas e Sergipe, as terras do baixo São Francisco, na faixa litorânea, foram incluídas na região climática 7, representando uma interrupção das regiões úmidas litorâneas, como já havia sido apontado por Nimer (1977) e, posteriormente por Diniz e Souza (2019). De maneira análoga, o clima semiseco prevalece ao longo do litoral do estado do Rio Grande do Norte. A ausência de terras elevadas a oeste destes trechos litorâneos do NE oriental se relaciona com a menor disponibilidade de umidade ao longo da costa. A presença de encostas próximas ao litoral favoreceria uma maior concentração de umidade, contribuindo para a gênese dos tipos tropicais úmidos. Nesse sentido, as precipitações decorrentes das perturbações dos alísios e das brisas teriam efeito ampliado pela presença de terras altas orientadas de modo paralelo à costa.

Diniz e Souza (2009) explicaram os mecanismos atmosféricos que justificam a descontinuidade das isoietas de valores máximos ao longo do litoral oriental da Região Nordeste. Os volumes médios anuais inferiores a 1250,0 mm registrados a partir da estação meteorológica de Coruripe (no estado de Alagoas) e toda a faixa litorânea da foz do Rio São Francisco, estariam relacionadas ao gradiente de pressão entre a linha costa e o interior do continente. Áreas com elevado gradiente barométrico, consorciadas às variações mais abruptas de altitude próximas à linha de costa, estariam relacionadas aos maiores valores médios de chuvas, como consequência da amplificação do efeito das brisas terrestres sobre a convecção costeira, como ocorre entre a cidade de Natal (localizada no litoral do estado do Rio Grande do Norte) e a Zona da Mata Norte do estado de Alagoas. Por outro lado, a ausência de um gradiente topográfico e barométrico, próximos à linha de costa, facilitaria a penetração dos alísios no interior continental e inibiria ou enfraqueceria o efeito das brisas sobre as precipitações litorâneas. No caso do vale do São Francisco, as baixas cotas topográficas entre a linha de costa e o interior continental (até 200 Km), ocasionam os mais baixos valores de chuvas e maior período seco (entre 4 e 6 meses), dando origem a paisagens semiúmidas em terras baixas (DINIZ e SOUZA, 2019).

O clima semiúmido do NE oriental foi associado aos tipos de vegetação representadas pelas Florestas Estacionais Semidecíduais (com maior frequência), Florestas Estacionais Decíduais, Caatinga e pelas áreas de contato da Caatinga. Essas fitofisionomias refletem a sazonalidade da disponibilidade de umidade observada nessa região climática. As paisagens semiúmidas do NE oriental ocorreram em terras baixas entre os estados do Rio Grande do Norte

e Paraíba, e entre o sul de Alagoas e o centro do estado da Bahia. Ocorreram em terras altas nos limites ocidentais do Planalto da Borborema (entre os estados de Pernambuco e Alagoas), da Chapada Diamantina e do Planalto Sul Baiano.

A região climática semiúmida do NE ocidental (tipo climático 8) foi caracterizada pela atuação de massas de ar tropicais e equatoriais continentais ou continentalizadas. Esse regime climático representou 15,4% da área da Região Nordeste e foi influenciado pela variação sazonal dos campos barométricos sobre o continente sul americano. O regime de monções sul americana é caracterizado por expansão das baixas pressões continentais, em superfície (na região do Chaco), e transporte de umidade da Amazônia para as áreas centrais do continente, durante o verão (GAN et al. 2009). Durante o inverno, observou-se o estabelecimento de altas pressões continentais, a partir do avanço do ASAS sobre a região central do Brasil. Durante o verão, a atuação de sistemas convectivos (mEC e ZCAS/ZCOU) foram responsáveis pela abundância de chuvas nessa região climática. No inverno, foram observados tipos de tempo quentes e secos, relacionados a uma elevada amplitude térmica diária, decorrente da atuação da mTAC e mTC.

A região climática 8 foi delimitada com área mais abrangente em propostas de sínteses climáticas anteriores, englobando áreas classificadas como semissecas no estudo presente (Nimer, 1979; Alvares et al. 2008). Essa região climática apresentou as típicas características do domínio das savanas tropicais, ou dos Cerrados da América do Sul (Ab'Saber, 2003). Os climas semiúmidos ocidentais do NEB ocorreram sobre as terras altas do Chapadão Ocidental do São Francisco (oeste do estado da Bahia) e nas terras baixas do sul do estado do Maranhão e sudoeste do Piauí. Na classificação de Novais (2019), o Domínio Tropical Semisseco Nordeste apresentou similaridades com a classe climática 8 da proposta atual. Essa classe foi descrita a partir da dinâmica sazonal dos sistemas sinóticos úmidos e secos, com mais de seis meses secos por ano.

A região climática semiúmida do NE setentrional (9) foi mapeada, mais frequentemente, nas amplas terras baixas, no extremo noroeste do estado do Rio Grande Norte, no norte do estado do Piauí, norte e leste do Ceará e nordeste do Maranhão. Esse tipo climático ocorreu nas terras altas do limite norte da Chapada do Ipiapaba (na divisa entre os estados do Ceará e Piauí) e na escarpa e platôs do norte da Chapada do Araripe (no estado de Ceará). Esse tipo climático representou 16,0% da área total do NEB. A dinâmica climática foi caracterizada por verões e outonos úmidos, como consequência da atuação da ZCIT. Os invernos foram marcados pela alternância de atuação das variantes seca (continentalizada) e úmida estáveis da mTA, com baixos valores de precipitação. A primavera foi o período mais seco, em decorrência dos tipos

de tempo associados à mTAC. A regionalização atual para essa classe climática assemelhou-se à proposta de Alvares et al. (2014).

Na região climática 9, predominaram os tipos de vegetação de Caatinga (sobre o estado do Ceará) e zonas de contato da Caatinga e Cerrado (Savana), no norte do Piauí e nordeste do Maranhão. Em menor extensão foram mapeadas áreas de Cerrado e de Florestas Estacionais Deciduais associadas a esse tipo climático. Essa associação aos tipos de fisionomia vegetal esteve coerente com a zona de transição climática, em que o limiar de precipitação média (um dos principais filtros ambientais) suporta distintos tipos de vegetação.

Foi apresentada no Quadro 8 a síntese climática referente às regiões delimitadas para a Região Nordeste do Brasil.

Quadro 8 - Síntese das características genéticas e estáticas referentes às regiões climáticas do Nordeste Brasileiro

continua

REGIÕES CLIMÁTICAS	GÊNESE CLIMÁTICA	CARACTERÍSTICAS GERAIS	REGIÕES FITOGEOGRÁFICAS TÍPICAS
1 - Clima tropical úmido do NE setentrional	Os tipos de tempo são influenciados pela ZCIT nos meses úmidos (verão e outono) e pela mTA nos meses de estiagem no inverno e na primavera, a partir da expansão do ASAS. Portanto, as condições de tempo são determinadas pelas baixas pressões equatoriais e, de modo mais frequente, pelas massas de ar de origem tropical.	A precipitação média anual é de 1673,8 mm, com concentração máxima no outono (44,5%). A temperatura média máxima ocorre do mês de dezembro (26,8°C), a mínima média ocorre no mês de julho (25°C). A umidade relativa máxima média ocorre no mês de abril (88,6%), e a mínima no mês de outubro (75,3%).	Floresta Ombrófila Densa e Aberta com até 4 meses secos.
2 - Clima tropical úmido do NE oriental	Os tipos de tempo são influenciados pela atuação dos ventos alísios úmidos de leste e sudeste da mTA1. O período com maior concentração das chuvas é consequência da expansão do ASAS e desenvolvimento de perturbações ondulatória dos alísios. Ademais, destaca-se o efeito das brisas litorâneas em associação com o gradiente topográfico do NE oriental.	A precipitação média anual é de 1808,1 mm, com concentração máxima no outono (46,0%). A temperatura média máxima ocorre do mês de março (27,3°C), a mínima média ocorre no mês de julho (24,4°C). A umidade relativa máxima média ocorre no mês de junho (82,9%), e a mínima no mês de outubro (76%).	Floresta Ombrófila Densa e Aberta com 0 a 2 meses secos.

Quadro 8 - Síntese das características genéticas e estáticas referentes às regiões climáticas do Nordeste Brasileiro

continuação

REGIÕES CLIMÁTICAS	GÊNESE CLIMÁTICA	CARACTERÍSTICAS GERAIS	REGIÕES FITOGEOGRÁFICAS TÍPICAS
3 - Clima tropical úmido do NE meridional	Os tipos de tempo úmidos, predominantes ao longo do ano, são consequência da atuação da mTA1, com influências das perturbações dos alísios para o pico chuvoso de outono. Durante a primavera, o segundo pico chuvoso é decorrente da atividade da ZCAS.	A precipitação média anual é de 1498,6 mm, com concentração máxima na primavera (29,5%). A temperatura média máxima ocorre do mês de fevereiro (26,6°C), a mínima média ocorre no mês de julho (22,3°C). A umidade relativa máxima média ocorre no mês de junho (85,8%), e a mínima no mês de fevereiro (80,2%).	Floresta Ombrófila Densa sem meses secos.
4 - Clima tropical semissecado do NE oriental	Os tipos de tempo são determinados, de modo mais frequente, pela atuação da mTAC e tipos de tempo transitório. O outono é estação que concentra os mais elevados valores de precipitação e umidade, decorrente da atuação da ZCIT e mTA1.	A precipitação média anual é de 762,5 mm, com concentração máxima de verão (34,6%). A temperatura média máxima ocorre do mês de fevereiro (26,1°C), a mínima média ocorre no mês de julho (21,8°C). A umidade relativa máxima média ocorre no mês de junho (78,7%), e a mínima no mês de outubro (60,9%).	Savana-Estépica (Caatinga) com 5 meses secos ou mais.
5 - Clima tropical semissecado do NE central	Os tipos de tempo mais frequentes são decorrentes da atuação da mTAC. Durante o verão e o outono, as baixas frequências de atuação da ZCIT são responsáveis por maior parte da precipitação anual. As condições de tempo predominantes são determinadas pela célula anticiclônica do Atlântico Sul (ASAS).	A precipitação média anual é de 754,8 mm, com concentração máxima de verão (53%). A temperatura média máxima ocorre do mês de novembro (28,2°C), a mínima média ocorre no mês de julho (24,9°C). A umidade relativa máxima média ocorre no mês de abril (74,0%), e a mínima no mês de outubro (50,2%).	Savana-Estépica (Caatinga) e áreas de contato (entre a Caatinga e o Cerrado) com 6 meses secos ou mais.
6 - Clima tropical semissecado do NE ocidental	Os tipos de tempo decorrentes da atuação da mTAC e mTC são os mais frequentes ao longo do ano. Durante a primavera e verão se concentram os maiores volumes de chuva, como consequência da atuação da ZCAS, mEC e ZCIT	A precipitação média anual é de 830,7 mm, com concentração máxima de verão (43,9%). A temperatura média máxima ocorre do mês de outubro (27,4°C), a mínima média ocorre no mês de julho (23,2°C). A umidade relativa máxima média ocorre no mês de março (73,3%), e a mínima no mês de setembro (47,3%).	Floresta Estacional Decidual e área de tensão ecológica (contato do Cerrado e da Caatinga) com 6 ou mais meses secos.

Quadro 8 - Síntese das características genéticas e estáticas referentes às regiões climáticas do Nordeste Brasileiro

conclusão

REGIÕES CLIMÁTICAS	GÊNESE CLIMÁTICA	CARACTERÍSTICAS GERAIS	REGIÕES FITOGEOGRÁFICAS TÍPICAS
7 - Clima tropical semiúmido do NE oriental	Os tipos de tempo são amplamente influenciados pela mTA1 durante a estação úmida (outono/ inverno). Na primavera e verão predominam tipos de tempo transitórios, úmidos e estáveis ou quentes e secos, relacionados com a mTAC.	A precipitação média anual é de 983,5 mm, com concentração máxima de outono (39,3%). A temperatura média máxima ocorre do mês de março (25,3°C), a mínima média ocorre no mês de julho (21,3°C). A umidade relativa máxima média ocorre no mês de junho (86,0%), e a mínima no mês de dezembro (73,1%).	Floresta Estacional Semidecidual com 4 a 6 meses secos.
8 - Clima tropical semiúmido do NE ocidental	Os tipos de tempo são alternadamente resultantes da atuação de massa de ar úmidas no verão e primavera, a partir da expansão da mEC. No inverno e primavera, predominam condições de tempo quentes e secos, resultantes, principalmente, da expansão do ASAS sobre o continente.	A precipitação média anual é de 1459 mm, com concentração máxima de verão (49,3%). A temperatura média máxima ocorre do mês de setembro (28,6°C), a mínima média ocorre no mês de março (26,0°C). A umidade relativa máxima média ocorre no mês de março (82,5%), e a mínima no mês de agosto (53,6%).	Savana (Cerrado) com até 6 meses secos.
9 - Clima tropical semiúmido do NE setentrional	Os tipos de tempo são controlados pela atuação da ZCIT no verão e outono. Durante o inverno e a primavera predominam condições atmosféricas quentes e secas ou úmidas e estáveis, decorrentes da atuação da mTAC e mTA.	A precipitação média anual é de 1668,2 mm, com concentração máxima de verão (51,8%). A temperatura média máxima ocorre do mês de novembro (28,4°C), a mínima média ocorre no mês de junho (26,0°C). A umidade relativa máxima média ocorre no mês de abril (82,8%), e a mínima no mês de setembro (58,8%).	Savana-Estépica (Caatinga) e áreas de contato da Caatinga e do Cerrado, com 6 ou mais meses secos.

Organizado pelo autor.

## 6 CONCLUSÕES

Como principais resultados, destacam-se a caracterização física e dos mecanismos dinâmicos das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados, a determinação das frequências sazonais dos tipos de tempo (relacionados à atuação dos sistemas sinóticos) e a regionalização climática do Nordeste Brasileiro. Considerou-se que a aplicação da estatística multivariada na caracterização dos tipos de tempo otimiza a classificação climática, facilitando a análise subjetiva envolvida nas abordagens genéticas.

De acordo com a classificação apresentada, os tipos climáticos da Região Nordeste do Brasil foram agrupados, prioritariamente, a partir das frequências de atuação das variantes da massa Tropical Atlântica (mTA). A variante úmida e mais instável (mTA1) foi determinante em todas as estações do ano, e a seca (mTAC), durante a primavera e o inverno. A alternância entre os tipos de tempo úmidos, no verão, e secos, no inverno, produzidos respectivamente pela atuação da mEC e mTC no oeste do NEB, também apresentaram significância estatística na determinação do agrupamento. Entre os sistemas sinóticos individualizados, destacaram-se a ZCAS, com frequências de primavera, e a ZCIT, no verão e outono, na determinação dos conglomerados climáticos.

As estações meteorológicas foram agrupadas em nove tipos climáticos: clima tropical úmido do NE setentrional (1), clima tropical úmido do NE oriental (2), clima tropical úmido no NE meridional (3), clima tropical semissecos do NE oriental (4), clima tropical semissecos do NE central (5), clima tropical semissecos do NE ocidental (6), clima tropical semiúmido do NE oriental (7), clima tropical semiúmido do NE ocidental (8) e clima tropical semiúmido do NE setentrional (9). As classes úmidas foram caracterizadas pela frequência de 100% de atuação dos tipos de tempo úmidos nas janelas sazonais. As classes semissecas apresentaram frequências anuais de tipos de tempo secos entre o intervalo de 35% a 70%, de tipos de tempo transitórios entre 20% e 35%, e de tipos de tempo úmidos entre 10% a 25%. Os climas semiúmidos apresentaram valores de frequência anual percentual entre 40% e 60% para os tipos de tempo úmidos, entre 10% a 25% para os tipos de tempo transitórios, e entre 15% a 50% para os tipos de tempo secos.

As análises de tendência para os tipos climáticos apresentaram significância para aumentos das temperaturas máximas e mínimas diárias em escala regional. Apenas o tipo climático 4 apresentou tendência de redução dos valores médios de temperatura mínima diária. Houve tendência de diminuição da precipitação média diária e umidade relativa para os subtipos climáticos central, setentrionais e ocidentais. Tendência de aumento da umidade relativa diária

foi verificada apenas para o clima tropical úmido do NE oriental (tipo 2). As tendências detectadas foram relacionadas à dinâmica atmosférica regional e a possíveis mudanças de frequências de atuação das massas de ar e sistemas sinóticos individualizados, especialmente a ZCIT e a mTA.

A regionalização dos tipos de clima sistematizou a gênese de cada conglomerado de estações meteorológicas, a partir da caracterização da circulação atmosférica em escala sinótica. Foram apresentados, para cada região climática, os valores médios mensais de temperatura média do ar, umidade relativa média do ar, pressão atmosférica e precipitação média. As regiões climáticas semissecas ocuparam a maior área percentual (47,8%) da Região Nordeste, seguidas pelas regiões semiúmidas (38,5%) e úmidas (13,7%). Como recomendações e aplicações dos resultados apresentados, destacam-se os estudos de variabilidade e tendência climática com a utilização das massas de ar ou sistemas sinóticos individualizados. Essa abordagem favoreceria investigações amplas acerca das mudanças ou variabilidades dos padrões de circulação atmosférica. Estudos de eventos extremos poderiam ser auxiliados com o uso do inventário dos tipos de tempo e padrões sinóticos descritos. Destacam-se, ainda, as possibilidades de desenvolvimento de estudos que relacionam clima e saúde, ou clima e agropecuária, especialmente com o uso do conceito das massas de ar. A utilização das classes regionais de climas nas abordagens ambientais como a cartografia de paisagens também representa uma possível aplicação dos resultados apresentados.

## REFERÊNCIAS

ABDELMOLA, Khadiga Younis. **Surface synoptic type over central Sudan during 1994-2003**. Thesis (Doctoral of Philosophy – PhD in Synoptic Climatology) - Department of Meteorology and Climatology, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, 2009.

AB’SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159 p.

ALBUQUERQUE, Rodrigo Tadeu Diniz Bezerra de; DANTAS, Carlos Eduardo de Oliveira; ARAÚJO, Elaine Lima; VASCONCELOS, Talitha Lucena. Distribuição Temporal das Precipitações no Município do Recife. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 02, p. 245-252, 2013.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo César; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ANDRADE, G. O. Os climas. *In*: AZEVEDO, Aroldo. **Brasil a Terra e o Homem**. São Paulo: Cia Editora Nacional, 1972. v. 1, p. 397-462.

ARMOND, Nubia Beray. **Entre eventos e episódios a excepcionalidade das chuvas e os alagamentos no espaço urbano do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2014.

ARMOND, Núbia Beray. **Dinâmica climática, excepcionais e vulnerabilidade: contribuições para uma classificação geográfica do clima do estado do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2018.

ARMOND, Núbia Beray; SANT’ANNA NETO, João Lima. A Climatologia dos Geógrafos e a Produção Científica sobre Classificação Climática: um Balanço Inicial. *In*: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 12., 2016, Goiânia. **Anais [...]** Goiânia: ABClima, 2016.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 332 p.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, tempo e clima**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2009.

BARRY, Roger G.; PERRY, A. H. Synoptic Climatology: Methods and Applications. **The Geographical Journal**, v. 142, n. 3, p. 527-528, 1976.

BASTOS, Camila C.; FERREIRA, Nelson J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. **CEP**, v. 12220, n. 110, p. 973-990, 2000.

BONAN, Gordon B.; LEVIS, Samuel; SITCH, Stephen; VERTENSTEIN, Mariana; OLESON, Keith W. A dynamic global model for use with climate models: concepts and description of simulated vegetation dynamics. **Global Change Biology**, v. 9, p. 1543-1566, 2003.

BOOKHAGEN, B. **High resolution spatiotemporal distribution of rainfall seasonality and extreme events based on 12 – year TRMM time series**. 2009.

BORSATO, Victor da Assunção. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Curitiba: Editora CRV, 2016. 184 p.

BOWER, Donna; MCGREGOR, Glenn R.; HANNAH, David M.; SHERIDAN, Scott C. Development of a spatial synoptic classification scheme for Western Europe. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 15, p. 2017-2040, 2007.

BOX, Elgene Owen. World bioclimatic zonation. *In: Vegetation structure and function at multiple spatial, temporal and conceptual scales*. Springer, Cham, 2016. p. 3-52.

BYRNE, Michael P.; PENDERGRASS, Angeline G.; RAPP, Anita D.; WODZICKI, Kyle R. Response of the intertropical convergence zone to climate change: Location, width, and strength. **Current climate change reports**, v. 4, n. 4, p. 355-370, 2018.

BRASIL. Ministério das Minas e Energias. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Folhas SC: Rio de Janeiro, 1983. v. 30, p. 573-643. 856 p.

BROVKIN, Victor. Climate-vegetation interaction. **Journal do Physique IV**, v. 12, n. 10, p. 57-72, 2002.

CARVALHO, Ailton A. de; MONTENEGRO, Abelardo A. de A.; SILVA, Hernande P. da; LOPES, Iug; MORAIS, José E. F. de; SILVA, Thieres G. F. da. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 15-23, 2020.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Influência da Circulação da Escala Sinótica na Circulação da Brisa Marítima na Costa NNE da América do Sul. **INPE-2573-PRE/221**, INPE, São José dos Campos (SP), 1982, 13 p.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza; CORRÊA, Antonio Carlos de Barros. Pluviosidade no Parque Nacional do Catimbau (Pernambuco): seus Condicionantes e seus Efeitos sobre a Paisagem. **Revista Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 133-156, 2015.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. Geossistemas do Semiárido Brasileiro: considerações iniciais. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 26, n. 2, p. 214-228, 2016.

CHAN, Chou Sin. **Análise de Distúrbios Ondulatórios de Leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul**. 134 p. (INPE 5222 - TDL/437). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 1990.

CONTI, José Bueno. Geografia e Paisagem. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p. 239-245, 2014.

CORRÊA, Antonio Carlos de Barros; TAVARES, Bruno de Azevedo Cavalcanti; MONTEIRO, Kleython de Araújo; CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza; LIRA, Daniel Rodrigues de. Megamorfologia e morfoestrutura do Planalto de Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v. 31, n. 1-2, p. 35-52, 2010.

CORRÊA, Antonio Carlos de Barros; SOUZA, Jonas Otaviano Praça de; CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. Solos do ambiente semiárido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica. *In*: GUERRA, Antonio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira. **Degradação dos Solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 127-169, 2014.

CORRÊA, Antonio Carlos de Barros; TAVARES, Bruno de Azevedo Cavalcanti; LIRA, Daniel Rodrigues de; MUTZEMBERG, Demétrio da Silva; CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. The Semi-arid Domain of the Northeast of Brazil. *In*: SALGADO, André Augusto Rodrigues; SANTOS, Leonardo José Cordeiro; PAISANI, Julio César. **The Physical Geography of Brazil**, Springer, p. 119-150, 2019.

COSTA, Rafaela Lisboa; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello; GOMES, Heliofábio Barros; SILVA, Fabrício Daniel, dos Santos; ROCHA JUNIOR, Rodrigo Lins da; SALVADOR, Mozar de Araújo; HERDIES, Dirceu Luís. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather and Climate Extremes**, v. 8, p. 100254, 2020.

COUTINHO, Leopoldo Magno. The biome concept. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.

COUTINHO, Leopoldo Magno. **Biomass brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

DAVIS, Robert E., KALKSTEIN, Laurence S. Using a spatial synoptic climatological classification to assess changes in atmospheric pollution concentrations. **Physical Geography**, v. 11, n. 4, p. 320–342, 1990.

DELGADO, Inácio de Medeiros; PEDREIRA, Augusto J.; THORMAN, Charles H. Geology and mineral resources of Brazil: a review. **International Geology Review**, v. 36, n. 6, p. 503-544, 1994. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00206819409465474>

DEXTER, Kyle G.; PENNINGTON, R. Toby; OLIVEIRA-FILHO, Ary T.; BUENO, Marcelo L.; MIRANDA, Pedro L. Silva de; NEVES, Danilo M. Inserting Tropical Dry Forest into the discussion on biome transitions in the tropics. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 6, p. 104, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00104>

DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALES, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. **InfoStat Version 2015**. Grupo InfoStat, FCA, Universidade Nacional de Córdoba, Argentina.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; PEREIRA, Vitor Hugo Campelo. Climatologia do estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 35, n. 3, p. 488-506, 2015.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; SOUZA, Rosemeri Melo e. Interações atmosfera – terra – oceano e suas repercussões na precipitação média registrada no leste da Região Nordeste do Brasil. **Ateliê Geográfico**, v. 13, n. 3, p. 244 -262, 2019.

DIXON, P. Grady; ALLEN, Michael; GOSLIN, Simon N.; HONDULA, David M.; INGOLE, Vijendra; LUCAS, Rebekah; VANOS, Jennifer. Perspectives on synoptic climate classification and its role in interdisciplinary research. **Geography Compass**, v. 10, n. 4, p. 147-164, 2016.

DUBREUIL, Vincent; FANTE, Karime Pechutti; PLANCHON, Olivier; SANT´ANNA NETO, João Lima. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 37, 2018.

EL KENAWY, Ahmed M.; McCABE, Matthew F.; STENCHIKOV, Georgiy L.; RAJ, Jerry. Multi-decadal classification of synoptic weather types, observed trends and links to rainfall characteristics over Saudi Arabia. **Frontiers in Environmental Science**, v. 2, p. 1-15, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00037>

ELGUINDI, N.; GRUNDSTAIN, A.; BERNARDES, S.; TURUNCOLU, U.; FEDDEMA, J. Assessment of CMIP5 global model simulations and climate change projections for the 21<sup>st</sup> century using a modified Thornthwaite climate classification. **Climatic Change**, v. 122, p. 523-538, 2013.

FERREIRA, Nelson Jesus; CHAN, Cho Sin; SATYAMURTI, Prakki. Análise dos distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul. *In: Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 6., 1990, Salvador, Rio de Janeiro, p. 462-466.

FERREIRA, Nelson J.; RAMIREZ, Maria Valverde; GAN, Manoel Alonso. Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do nordeste do Brasil. **Tempo e Clima no Brasil**, p. 43-60, Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, 2009.

FONTÃO, Pedro Augusto Breda; ZAVATTINI, João Afonso. Variations of rainfall rhythm in Alto Pardo watershed, Brazil: analysis of two specific years, a wet and dry one, and their relation with the river flow. **Climate**, v. 5, n. 3, p. 47, 2017.

FONTÃO, Pedro Augusto Breda; ZAVATTINI, João Afonso; SHERIDAN, Scott Christopher; ARMOND, Núbia Beray. Gênese das chuvas em São Paulo (SP): estudo comparativo entre a “Spatial Synoptic Classification” e a “Análise Rítmica em Climatologia”. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018.

FRANK, Neil L. **On the nature of upper tropospheric cold core cyclones over the tropical Atlantic**. Master’s thesis. Tallahassee, Florida State University, 1970.

GAN, Manoel Alonso; KOUSKY, Vernon Edgar. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira Meteorologia**, v. 1, n. 1, p. 19-28, 1986.

GAN, Manoel Alonso; RODRIGUES, Luiz R.; RAO, Vadlamudi B. Monção na América do Sul. *In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; DIAS, Maria Assunção Faus da Silva. (Org.) Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

GAUSSEN, Henri; BAGNOULS, F. L'indice xérothermique. **Bulletin de l'Association de Géographes Français**, Paris, v. 29, p. 10-16, 1952.

GOMES FILHO, Manoel Francisco. **Um estudo sobre a influência do albedo diferencial e da orografia na circulação atmosférica**: Uma aplicação para o Nordeste Brasileiro, INPE-1640-TDL/015. INPE: São José dos Campos (SP), 1979.

GOMES, Helber B.; AMBRIZZI, Tércio; SILVA, Bruce F. Pontes da; HODGES, Kevin; DIAS, Pedro L. Silva; HERDIES, Dirceu L.; SILVA, Maria Cristina L.; GOMES, Heliofábio B. Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. **Climate Dynamics**, v. 53, n. 3, p. 1393-1411, 2019.

GONZALES, Rosimeire Araújo; ANDREOLI, Rita Valéria; CANDIDO, Luiz Antonio; KAYANO, Mary Toshie; SOUZA, Rodrigo Augusto Ferreira de. A influência do evento El Niño – Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 4, p. 469-480, 2013.

HASTENRATH, Stefan; HELLER, Leon. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n. 435, p. 77-92, 1977.

HASTENRATH, Stefan. **Climate Dynamics of the Tropics**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. 488 p.

HASTENRATH, Stefan. Circulation and teleconnection mechanisms of Northeast Brazil droughts. **Progress in Oceanography**, v. 70, p. 407–415, 2006.

HASTENRATH, Stefan. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. **Climatic Change**, v. 112, n. 2, p. 243-251, 2012.

HERRMANN, Stefanie M.; MOHR, Karen I. A continental-scale classification of rainfall seasonality regimes in Africa based on gridded precipitation and land surface temperatures products. **Journal of applied meteorology and climatology**, v. 50, p. 2504-2513, 2011.

HOLDRIDGE, L. R. Determination of world plant formations from simple climatic data. **Science**, v. 105, n. 2727, p. 367-368, 1947.

IBGE-**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Biomass e Sistema Costeiro Marinho do Brasil Compatível com a escala 1:250 000**. Série Relatórios Metodológicos. Rio de Janeiro: IBGE-Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019. 164 p.

IBGE-**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico da Vegetação Brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro: IBGE-Diretoria de Geociências, 2012. 271 p.

INMET-INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. **BDMEP**, 2017.

JESUS, Emanuel Fernando Reis de. Algumas reflexões teóricoconceituais na climatologia geográfica em mesoescala: uma proposta de investigação. **GeoTextos**, v. 4, 2008.

KALKSTEIN, Laurence S.; DUNNE, Paul C.; VOSE, Russel S. Detection of climatic change in the western North America Arctic using a Synoptic Climatological approach. **American Meteorological Society**, v. 3, n. 10, p. 1153-1167, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1990\)003%3C1153:DOCCIT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1990)003%3C1153:DOCCIT%3E2.0.CO;2)

KALKSTEIN, Laurence S.; NICHOLS, Michael C.; BARTHEL, C. David; GREENE, J. Scott. A new spatial synoptic classification: application to air-mass analysis. **International Journal of Climatology**, v. 16, p. 983-1004, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199609\)16:9%3C983::AID-JOC61%3E3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199609)16:9%3C983::AID-JOC61%3E3.0.CO;2-N)

KARLSEN, Stein Rune; ELVEBAKK, Arve. A method using indicator plants to map local climate variation in the Kangerlussuaq/Scoresby Sund area, East Greenland. **Journal of Biogeography**, v. 30, p. 1469-1491, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00942.x>

KARLSKEN, Stein Rune; ELVEBAKK, Arve; JOHANSEN, Bernt. A vegetation-based method to map climatic variation in the arctic-boreal transition area of Finnmark, north-easternmost Norway. **Journal of Biogeography**, v. 32, p. 1161-1186, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01199.x>

KAYANO, Mary Toshie; RAO, Vadlamudi Brahmananda; MOURA, Antonio Divino. Tropical circulations and associated rainfall anomalies during two contrasting years. **Journal of Climatology**, v. 8, p. 477-488, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.3370080504>

KNIGHT, David B.; DAVIS, Robert E.; SHERIDAN, Scott C.; HONDULA, David M.; SITKA, Luke J.; DEATON, Michael; LEE, Temple R.; GAWTRY, Stephen D.; STENGER, Philip J.; MAZZEI, Francesco; KENNY, Barrett P. Increasing frequencies of warm and humid air masses over the conterminous United States from 1948 to 2005. **Geophysical Research Letters**, v. 35, n. 10, p. 1-16, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1029/2008GL033697>

KÖPPEN, Wladimir. Das Geographisches System der Klimate. *In*: KÖPPEN, Wladimir; GEIGER, Rudolf. **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936.

KOUADIO, Yves K.; SERVAIN, Jacques; MACHADO, Luiz A. T.; LENTINI, Carlos A. D. Heavy Rainfall Episodes in the Eastern Northeast Brazil Linked to Large-Scale Ocean-Atmosphere Conditions in the Tropical Atlantic. **Advances in Meteorology**, v. 2012, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/369567>

LACERDA, Francinete Francis; NOBRE, Paulo; SOBRAL, Maria do Carmo Martins; LOPES, Geraldo Majella Bezerra; ASSAD, Eduardo Delgado. Tendência do clima do semiárido frente as perspectivas das mudanças climáticas globais; o caso de Araripina, Pernambuco. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 132-141, 2016.

LAUX, Patrick; BÖKER, Brian; MARTINS, Eduardo Sávio; VASCONCELOS JUNIOR, Francisco da Chagas; MORON, Vicent; PORTELE, Tanja; LORENZ, Christof; PHILIP, Andreas; KUNSTMANN, Harald. A semi-objective circulation pattern classification scheme for the semi-arid Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 41, p. 51-72, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6608>

LEE, C. C.; SHERIDAN, S. C. Synoptic Climatology: An Overview. **Earth Systems and Environmental Sciences**, p. 1-6, 2015.

LEE, Dae-Geun; KIM, Kyu Rang; KIM, Jiyoung; KIM, Baek-Jo; CHO, Chun-Ho; SHERIDAN, Scott C.; KALKSTEIN, Laurence S.; KIM, Ho; YI, Seung-Muk. Effects of heat waves on daily excess mortality in 14 Korean cities during the past 20 years (1991–2010): An application of the spatial synoptic classification approach. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, p. 575-583, 2018.

LIMA, Flávia Jorge de; LIMA, G. G.; CORRÊA, A.; MARÇAL, Mônica dos Santos. Mapeamento geomorfológico em escala de semidetalle e a flexibilização de manuais de mapeamento: breves considerações a partir de um estudo de caso-setor subúmido do planalto sedimentar do Araripe/CE/Brasil. **Ensaios de Geografia**, v. 3, n. 6, p. 61-78, 2014.

LONGOBARDI, Antonia; VILLANI, Paolo. Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 10, p. 1538-1546, 2010.

MAIA, Rúbson Pinheiro; BEZERRA, Francisco Hilário Rego; SALES, Vanda Claudino. Geomorfologia do Nordeste: concepções clássicas e atuais acerca das superfícies de aplainamento nordestinas. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 27, n. 1. Esp, p. 6-19, 2010.

MAPBIOMAS, Projeto. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. Coleção 4.1. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acessado em: 03/2020.

MARENGO, José Antonio. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2008.

MARENGO, José Antonio; ALVES, Lincoln Muniz; BESERRA, Elder Almeida; LACERDA, Francinete Francis. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. *In*: MEDEIROS, Salomão de Souza; GHEYI, Hans Raj; GALVÃO, Carlos de Oliveira; PAZ, Vital Pedro da Silva. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: INSA, 2011. p. 383-422.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F. do; ARAUJO FILHO, J. C. de; SILVA, A. B. da. Solos do Nordeste. **Embrapa Solos-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2014.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero; BERNARDO, Sérgio de Oliveira. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Sobre um índice de participação das massas de ar e suas possibilidades de aplicação à classificação climática. **Revista Geográfica**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 59-69, 1964.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Clima. *In*: IBGE. **Geografia do Brasil: Grande Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1968. v. 4, Tomo I, cap. 3, p. 114-166.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. A análise rítmica em climatologia: Problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. **Climatologia**, São Paulo, n. 1, p. 1-21, 1971.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Teoria e Clima Urbano**. Tese (Livre Docência apresentada ao Departamento de Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Clima e excepcionalismo**: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1991. 241 p.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192 p.
- NIMER, Edmon. Ensaio de um novo método de classificação climática. Contribuição à climatologia intertropical e subtropical, especialmente do Brasil. **Boletim de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 277, p. 141-153, 1972.
- NIMER, Edmon. Clima. *In*: BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Nordeste**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.
- NIMER, Edmon. Um Modelo Metodológico da Classificação de Climas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 4, p. 59-89, 1979.
- NOBRE, Carlos A. Mudanças climáticas e o Brasil – Contextualização. **Parcerias Estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 7-18, 2008.
- NOBRE, Paulo; SHUKLA, John. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464-2479, 1996.
- NÓBREGA, Ranyére S.; SOUZA, Enio P.; CAVALCANTI, Enilson P. Energia estática na atmosfera sobre o Nordeste do Brasil: Fluxo e variação sazonal de energia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 132-139, 2006.
- NÓBREGA, Ranyére Silva. Um pensamento crítico sobre as classificações climáticas de Köppen até Strahler. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 3, p. 18-22, 2010.

NÓBREGA, Ranyére Silva; FARIAS, Rafael Fhelipe de Lima; SANTOS, Carlos Antonio Costa dos. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 171-180, 2015.

NOVAIS, Giuliano Tostes. **Classificação climática aplicada ao Bioma Cerrado**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2019.

OGASHAWARA, Igor. Análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira. **Revista Georaguaia**, v. 2, n. 2, 2012.

OLIVEIRA, P. T.; SILVA, C. M. S. e; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and applied Climatology**, v. 130, p. 77-90, 2017.

PÉDELABORDE, Pierre. **Introduction a l'étude scientifique du climat**. Paris: Sociéte d'édition d'enseignement supérieur, 1970. 246 p.

PEINADO, Manuel; DÍAZ, Gustavo; DELGADILLO, José; OCAÑA-PEINADO, Francisco Manuel; MACÍAS, Miguel Ángel; AGUIRRE, Juan Luis; APARICIO, Alejandro. Bioclimate-vegetation interrelations along the Pacific Rim of North America. **American Journal of Plant Sciences**, v. 3, n. 10, 2012. DOI: <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=24143>

PINEDA-MARTÍNEZ, Luis F.; CARBAJAL, Noel. Climatic analyses linked to land vegetation cover of Mexico by applying multivariate statistical and clustering analysis. **Atmósfera**, v. 30, n. 3, p. 233-242, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20937/atm.2017.30.03.04>

PÔRTO, Kátia C.; CABRAL, Jaime J. P.; TABARELLI, Marcelo. (Orgs.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 324 p.

PRENTICE, I. Colin; CRAMER, Wolfgang; HARRISON, Sandy P.; LEEMANS, Rik; MONSERUD, Robert A.; SOLOMON, Allen M. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. **Journal of Biogeography**, v. 19, n. 2, p. 117–134, 1992.

REBOITA, Michelle Simões; KRUSCHE, Nísia; AMBROZZI, Tércio; ROCHA, Rosmeri Porfírio da. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v. 8, p. 34-50, 2012.

REBOITA, Michelle Simões; GAN, Manoel Alonso; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, Tércio. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, Michelle Simões; RODRIGUES, Marcelo; ARMANDO, Rodolfo; FREITAS, Cleverson; MARTINS, Débora; MILLER, Gabriel. Causas da semiaridez do Sertão Nordeste. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, n. 12, p. 254-277, 2016.

RIFIKOV, V. A.; RIFIKOVA, N. A.; MAMADGANOVA, G. F. Forecasting changes of arid geosystems under ecological destabilizing conditions in the Aral Sea region. **Geodesy and Geodynamics**, v. 5, n. 2, p. 16-23, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3724/SP.J.1246.2014.02016>

RODRÍGUEZ, Miguel Ángel Macías; LORCA, Manuel Peinado; AZCÁRATE, Joaquín Giménez de; MARTÍNEZ, Juan Luis Aguirre; RODRÍGUEZ, José Delgadillo. Clasificación bioclimática de la vertiente del pacífico mexicano y su relación con la vegetación potencial. **Acta Botánica Mexicana**, n. 109, p. 133-165, 2014.

ROHLI, Robert V.; JOYNER, T. Andrew; REYNOLDS, Stephen J.; SHAW, Cynthia; VÁZQUEZ, Javier R. Global extended Köppen-Geiger climate classification and temporal shifts in terrestrial climatic types. **Physical Geography**, v. 36, n. 2, p. 142-157, 2015.

ROLIM, Glauco de Souza; CAMARGO, Marcelo Bento Paes de; LANIA, Daniel Grosseli; MORAES, Jener Fernando Leite de. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, 2007.

ROSSATO, Maíra Suertegaray. **Os climas do Rio Grande do Sul**: variabilidade, tendências e tipologia. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

SALVIANO, Marcos Figueiredo; GROPPPO, Juliano Daniel; PELLEGRINO, Giampaolo Queiroz. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.

SANTOS, Athos Ribeiro. A Tectônica e as Formas de Relevo. *In*: FLORENZANO, Teresa Gallotti (org.). **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 129-158.

SANTOS, Carlos Antonio; BRITO, José Ivaldo Barbosa de. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 303-312. 2007.

SANTOS, Carlos Antonio Costa dos; BRITO, José Ivaldo Barbosa de; RAO, Tantravahi Venkata Ramana; MENEZES, Hudson Ellen Alencar. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SANTOS, David N. dos; SILVA, Vicente de P. R. da; SOUSA, Francisco de A. S.; SILVA, Roberta A. e. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 492-500, 2010.

SATYAMURTY, Prakki; ROSA, Marcelo B. Synoptic climatology of tropical and subtropical South America and adjoining seas as inferred from Geostationary Operational Environmental Satellite imagery. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 1, p. 378-399, 2020.

SERRA, Adalberto; RATISBONNA, Leandro. As Massas de Ar da América do Sul: (PRIMEIRA PARTE). **Revista Geográfica**, v. 25, n. 51, p. 67-129, 1959.

SERRA, Adalberto; RATISBONNA, Leandro. As Massas de Ar da América do Sul: (SEGUNDA PARTE). **Revista Geográfica**, p. 41-61, 1960.

SHERIDAN, Scott C. The redevelopment of a weather type classification scheme for North America. **International Journal of Climatology**, v. 22, p. 51-68, 2002.

SILVA, Carlos Batista da; SANT'ANNA NETO, João Lima; TOMMASELLI, José Tadeu Garcia; PASSOS, Messias Modesto dos. Dinâmica atmosférica e análise da área de integração paisagística "Raia Divisória" SP/PR/MS: uma proposta de tipologia climática. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 2, p. 53-70, 2006.

SILVA, Elisabeth Regina Alves Cavalcanti; GALVINCIO, Josiclêda Domiciano; NASCIMENTO, Katarina Romenia Pinheiro; SANTANA, Sidney Henrique Campelo de; SOUZA, Werônica Meira de; COSTA, Valéria Sandra de Oliveira. Análise da tendência temporal da precipitação pluviométrica interanual e intra-anual no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

SILVA, Vicente de P. R.; SOUSA, F. de A. S.; CAVALCANTI, Enilson P.; SOUZA, Enio P.; SILVA, Bernardo B da. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, Canada, v. 68, n. 7, p. 781-792, 2006

**SILVA DE MIRANDA**, Pedro Luiz; OLIVEIRA-FILHO, Ary T.; PENNINGTON, R. Toby; NEVES, Danilo M.; BEKER, Timothy R.; DEXTER, Kyle G. Using tree species inventories to map biomes and assess their climatic overlaps in lowland tropical South America. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, n. 8, p. 899 -912, 2018.

SORRE, Maximilien-Joseph. **Lês fondements de la Géographie Humaine. Tome: I: Les fondements biologiques. Essai d'ne écologie de l'home. Livre I: Lê climat et l'home. Chp Ier Le Climat**. Paris: Librairie Armand Colin, 1951. p. 13-43.

SOUZA, Marcos José Nogueira de; OLIVEIRA, José Gerardo B. de; LINS, Rachel Caldas; JATOBÁ, Lucivânio. Condições geo-ambientais do semiárido Brasileiro. **Ciência & Trópicos**, v. 20, n. 1, p. 173-198. 1992.

STRAHLER, Arthur N. **Geografia Física**. Barcelona: Ediciones Omega, 1974. 767 p.

TEIXEIRA, Raul Fritz Bechtel. O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 282-291, 2008.

THEOBALD, Alison; MCGOWAN, Hamish; SPEIRS, Johanna. Trends in synoptic circulation and precipitation in the Snowy Mountais region, Australia, in the period 1958-2012. **Atmospheric Research**, v. 169, p. 434-448, 2016.

THORNTHWAITE, Charles Warren. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The Water Balance**. Drexel Institute of Technology: New Jersey, 1955. v. 8, n. 1. 104 p.

VASCONCELOS SOBRINHO, João. As regiões naturais de Pernambuco. **Arquivos do Instituto de Pesquisas Agronômicas**, v. 3, p. 25-32, 1941.

VELOSO, Henrique Pimenta; RANGEL FILHO, Antonio Lourenço Rosa; LIMA, José Carlos Alves. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/classificacaovegetal.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2020.

WALTER, Heinrich. **Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung**: vol II, Die gemäßigten und arktischen Zonen. Gustav Fischer Verlag: Jena, 1968. 1002 p.

WALTER, Heinrich. **Vegetation und Klimazonen**. Uni-Taschenbücher. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart, 1970. 382 p.

WALTER, Heinrich. **Vegetation und Klimazonen**. Uni-Taschenbücher. 3 ed. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart, 1977. 309 p.

WALTER, Heinrich. **Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung**. 3 ed. Gustav Fischer Verlag: Jena, 1973. v. 1. 744 p.

WALTER, Heinrich. **Die Vegetation Osteuropas. Nord- und Zentralasiens**. Vegetation der einzelnen Großräume. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, 1974. 452 p.

WALTER, Heinrich. **Die ökologischen Systeme der Kontinente (Biogeosphäre)**. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, 1976. 131 p.

WALTER, Heinrich. **Vegetação e zonas climáticas**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986. 325 p.

WALTER, Heinrich; LIETH, H. **Klimadiagramm-Weltatlas**. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, 1960. 120 p.

WANDERLEY, Lucas Suassuna de Albuquerque; NÓBREGA, Ranyeére Silva; MOREIRA, Ayobami Badiru; MENEZES, Rômulo Simões César. A relação entre o relevo e o clima como proposição de caracterização da fisiologia da paisagem em Pernambuco, Brasil. **Geo UERJ**, n. 34, p. 1-24, 2019.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. Brahmananda. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean, **Journal of the Meteorology Society of Japan**, v. 55, n. 2, p. 205- 207, 1977.

YARNAL, Brent. **Synoptic Climatology in Environmental Analysis**. London: Belhaven Press, 1993. 195 p.

YARNAL, Brent; COMRIE, Andrew C.; FRANKES, Brent; BROWN, David P. Developments and prospects in synoptic climatology. **International Journal of Climatology**, v. 21, n. 15, p. 1923-1950, 2001.

ZAVATTINI, João Afonso. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática**. 1. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2009. 212 p.

ZEBIAK, Stephen E. Air–sea interaction in the equatorial Atlantic region. **Journal of Climate**, v. 6, n. 8, p. 1567-1586, 1993.