UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Programa de Pós-graduação em Geografia

Aion Angelu Ferraz Silva

VARIABILIDADE TÊMPORO-ESPACIAL DAS CHUVAS E TEMPERATURA DO AR NAS MICRORREGIÕES DO ENTORNO DE UNAÍ, NOROESTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS: síntese climática e impactos na produção de soja

Belo Horizonte
2020

Aion Angelu Ferraz Silva

VARIABILIDADE TÊMPORO-ESPACIAL DAS CHUVAS E TEMPERATURA DO AR NAS MICRORREGIÕES DO ENTORNO DE UNAÍ, NOROESTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS: síntese climática e impactos na produção de soja

Versão final

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Jardim

Belo Horizonte
2020

FICHA CATALOGRÁFICA

S586v
2020

Silva, Aion Angelu Ferraz.

Variabilidade têmporo-espacial das chuvas e temperatura do ar nas microrregiões do entorno de Unaí, noroeste do estado de Minas Gerais [manuscrito]: síntese climática e impactos na produção de soja / Aion Angelu Ferraz Silva. – 2020.

311 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Carlos Henrique Jardim.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2020.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Bibliografia: f. 260-275.

Inclui glossário e apêndices.

1. Mudanças climáticas – Unaí (MG) – Teses. 2. Soja – Unaí (MG) – Teses. I. Jardim, Carlos Henrique. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 551.583(815.1)

Ficha catalográfica elaborada por Elisabete Quatrini Vieira – CRB6 2210

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS CHUVAS E TEMPERATURA DO AR NO ENTORNO DE UNAÍ, NOROESTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS: síntese climática e impactos na produção de soja

AION ANGELU FERRAZ SILVA

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOGRAFIA, como requisito para obtenção do grau de Doutor em GEOGRAFIA, área de concentração ANÁLISE AMBIENTAL.

Aprovada em 19 de junho de 2020, pela banca constituída pelos membros:

Carlos Henrique Jardim

Prof(a). Carlos Henrique Jardim - Orientador
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof(a). Wellington Lopes Assis
Universidade Federal de Minas Gerais

Adriana Monteiro da Costa

Prof(a). Adriana Monteiro da Costa
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof(a). Emerson Galvani
Universidade de São Paulo

Prof(a). Taíza de Pinho Barroso Lucas
CEFET MG - Unidade Contagem

Belo Horizonte, 19 de junho de 2020.

Dedico este trabalho a toda minha família, em especial à minha mãe, Valdete Ferraz de Oliveira, à minha irmã, Alya Adhara Ferraz Silva, ao meu filho, Felipe Augusto de Moura Ferraz Silva e, principalmente, à minha alma gêmea, Mayara de Moura Martins, por terem acreditado no sucesso dessa longa e exaustiva jornada. Dedico, acima de tudo, ao meu querido pai, Darci Lopes da Silva, e à minha amada "Vó Silvia", por sempre terem apoiado e incentivado minhas escolhas até os seus últimos momentos de vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à minha amada esposa e companheira de vida, Mayara de Moura Martins, pelas constantes demonstrações de amor, carinho, paciência e compreensão dos desafios impostos, sem os quais eu jamais teria a possibilidade de finalizar esse trabalho. Também agradeço ao meu amado filho, Felipe Augusto de Moura Ferraz Silva, que chegou durante a construção desse projeto e proporcionou um melhor entendimento da pessoa que sou e das qualidades e limitações que possuo, sobretudo pela capacidade de enfrentar longas madrugadas solitárias com o único objetivo de finalizar essa tese.

Aos meus ex-alunos e colegas do Instituto Federal de Minas Gerais, *campus* Sabará, pela oportunidade de flexibilização e adaptação da rotina de trabalho às minhas obrigações inerentes ao doutorado. Agradeço também aos colegas representantes do colegiado da Formação Geral pela concessão do afastamento integral de minhas atividades docentes para conclusão do doutorado, além dos colegas de Controle de Processos Industriais, em especial aos professores Diego Oliveira Miranda, Erick Fonseca Boaventura e Felipe de Oliveira Luzzi pelo empenho na solução da prorrogação do prazo de afastamento, o qual possibilitou a dedicação integral imprescindível para conclusão desse trabalho.

Aos professores que tive durante minha vida acadêmica, primeiramente na Licenciatura cursada em São Paulo, no Centro Universitário Sant'anna, e posteriormente no Bacharelado e Mestrado cursados na Universidade Federal do Tocantins, *campus* de Porto Nacional, e agora no Doutorado na Universidade Federal de Minas Gerais. Faço questão de fazer menção particular ao Prof. Dr. Lucas Barbosa e Souza, que abriu as portas dos conhecimentos geográficos relacionados ao paradigma climático proposto pelo professor Carlos Augusto Figueiredo Monteiro durante suas orientações na Iniciação Científica (PIBIC) e no Mestrado.

À Profª. Drª. Adriana Monteiro da Costa e ao Prof. Dr. Wellington Lopes Assis pelas considerações, críticas, apontamentos e sugestões na fase de defesa do relatório de qualificação da tese, os quais proporcionaram o amadurecimento teórico e conceitual deste trabalho.

Em especial ao Prof. Dr. Carlos Henrique Jardim, por ter aceito me orientar após ter decorrido mais de um ano do meu ingresso no Doutorado do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. Também agradeço por toda a paciência, compreensão, auxílio, contribuições e sugestões teóricas e metodológicas durante os nossos encontros, os quais embasaram a publicação de diversos artigos em periódicos e anais de eventos. Todo esse arcabouço foi fundamental para construção e conclusão dessa tese de doutorado.

Resumo

Os fatores estáticos e dinâmicos do clima influenciam direta e/ou indiretamente as atividades humanas no espaço geográfico. Nessa perspectiva, o clima desempenha papel fundamental nas atividades agrícolas ao fornecer os insumos necessários ao pleno desenvolvimento dos cultivos (radiação solar, temperatura, pluviosidade etc.), sendo que as interações entre fatores climáticos propiciam condições que impactam positivamente ou negativamente a produtividade entre as safras. Ainda são incipientes as pesquisas que analisam a contribuição do clima nas flutuações da produtividade da soja no Brasil sob a perspectiva teórica e metodológica da Climatologia Geográfica, sobretudo no que tange a influência de fatores de diferentes escalas espaciais e temporais. O objetivo desta pesquisa foi compreender como a variabilidade têmporo-espacial dos elementos climáticos estão relacionados com as variações de produtividade da soja em seis microrregiões no entorno do município de Unaí-MG, entre os anos agrícolas de 1995/1996 e 2014/2015. Utilizou-se dados diários de 22 estações meteorológicas do INMET e 100 estações pluviométricas da ANA, cujas falhas foram verificadas e consistidas por técnicas estatísticas. A análise recorreu a técnicas estatísticas descritiva e exploratória, classificação de períodos padrão de intensidade das chuvas (mensal, sazonal e anual), cálculo do balanço hídrico climatológico e estabelecimento de respectivos índices e à compartimentação têmporo-espacial de unidades climáticas por técnicas estatísticas de Análise Fatorial e Agrupamento. Uma vez identificados os sistemas atmosféricos atuantes e construídos os gráficos de Análise Rítmica e a caracterização da produção agrícola, foi feita a delimitação espacial das lavouras e definição das condições temporais dos cultivos pela técnica do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Como resultado, foram detalhadas as condições climáticas médias para os anos de 1995/1996 a 2014/2015 e dos anos agrícolas 2004/2005 e 2014/2015 (alta e baixa produtividade regional de soja, respectivamente), além de definir o impacto na produção agrícola. No ano 2004/2005, de alta produtividade, houve condições climáticas favoráveis (oferta pluvial e excedentes hídricos no período chuvoso) em todos os estágios de desenvolvimento fenológico dos cultivos, resultado da configuração sinótica e regularidade de atuação das Frentes Frias, Zonas de Convergência e da Massa Equatorial Continental (mEc), na gênese pluvial regional, com melhor desempenho das lavouras situadas nas áreas de transição climática e de maior altitude (unidades climáticas 2.D.III, 3.PIII, 4.PI e 4.P.II). A baixa produtividade da safra de 2014/2015 foi ocasionada pelo mês de janeiro mais quente e seco dos 20 anos analisados, relacionado ao bloqueio atmosférico atuante na Região Centro-Sul do Brasil que limitou a incursão de sistemas frontais, a formação de Zonas de Convergência e o transporte de umidade pela mEc, comprometendo os volumes pluviais e produzindo *stress* hídrico em todas as unidades climáticas, sobretudo nas áreas de menor altitude (unidade 2.D.II).

Palavras chave: Variabilidade climática; Unidades Climáticas; Análise Rítmica; Soja; Unaí.

Abstract

The static and dynamic factors of the climate influence directly and / or indirectly the human activities in geographic space. In this perspective, the climate plays a fundamental role in agricultural activities by supplying the necessary for the full development of crops (solar radiation, temperature, rainfall, etc.), and the interactions between climatic factors provide conditions that impact, positively or negatively, the productivity among the harvests. Research that analyzes the contribution of climate to fluctuations in soybean productivity in Brazil from a theoretical and methodological perspective of Geographic Climatology are still incipient, especially with regard to the influence of factors of different spatial and temporal scales. The objective of this research was to understand how the temporal-spatial variability of climatic elements are related to variations in soybean productivity in six micro-regions around the municipality of Unaí-MG, between the agricultural years 1995/1996 and 2014/2015. It was used daily data from 22 meteorological stations from INMET and 100 pluviometric stations from ANA, whose flaws were verified and filled by statistical techniques. The analysis was based by descriptive and exploratory statistical techniques, classification of pattern periods of rainfall intensity (monthly, seasonal and annual), calculation of the climatological water balance and establishment of respective indexes and the temporal-spatial compartmentation of climatic units by statistical techniques of Analysis Factorial and Grouping. Once identified the active atmospheric systems and constructed the graphs of Rhythmic Analysis and the characterization of agricultural production, the spatial delimitation and the temporal conditions of the crops were made and defined by using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) technique. As a result, it was detailed the average climatic conditions for the years 1995/1996 to 2014/2015 and the agricultural years 2004/2005 and 2014/2015 (high and low regional soybean productivity, respectively), in addition to defining the impact on production agricultural. In 2004/2005, a year of high productivity, there were favorable climatic conditions (rain supply and water surpluses in the rainy season) at all stages of phenological development of the crops, as a result of the synoptic configuration and regular performance of the Cold Fronts, Convergence Zones and Continental Equatorial Mass (mEc), in regional rainfall genesis, with better performance of crops located in the climatic transition and higher altitude areas (climate units 2.D.III, 3.PIII, 4.PI and 4.P.II). The low productivity of the 2014/2015 harvest was caused by the warmest and driest January of the 20 years analyzed, related to the atmospheric blocking in the South-Central Region of Brazil that limited the incursion of frontal systems, the formation of Convergence Zones and the transport of humidity by the mEc, compromising the rainfall volumes and producing water stress in all climatic units, especially in the areas of lower altitude (unit 2.D.II).

Keywords: Climatic variability; Climate Units; Rhythmic Analysis; Soybean; Unaí.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Síntese das áreas de atuação dos sistemas atmosféricos na América do Sul..... 29

Figura 2- Representação esquemática dos sistemas atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul ao longo do ano..... 30

Figura 3- Síntese da atuação dos principais sistemas atmosféricos na América do Sul em (a) janeiro e (b) julho..... 31

Figura 4- Tentativa de classificação das unidades climáticas do Estado de São Paulo..... 38

Figura 5- Unidades climáticas (A) naturais e (B) urbanas do município de São Paulo..... 39

Figura 6- Unidades climáticas da bacia do rio Aricanduva, município de São Paulo..... 39

Figura 7- Unidades climáticas do município de Belo Horizonte: "naturais", nas escalas (a) local, (b) mesoclimática e topoclimática, e (c) urbanas..... 40

Figura 8- Modelo de organização climática do Estado da Bahia..... 41

Figura 9- Tipologias climáticas segundo análise multivariada para o Estado de São Paulo..... 42

Figura 10- Regiões homogêneas de precipitação em Minas Gerais..... 43

Figura 11- Unidades climáticas naturais e urbanas do município de Teófilo Otoni..... 43

Figura 12- Classificação climática de base genética para o Estado do Mato Grosso do Sul..... 44

Figura 13- Tipologias climáticas do Estado do Rio Grande do Sul..... 44

Figura 14- Comportamento da água no sistema atmosfera-solo-planta..... 50

Figura 15- Vista externa e corte transversal de uma semente típica de soja..... 51

Figura 16- Folhas cotiledonares, unifoliadas e trifoliadas da soja..... 52

Figura 17- Fases do crescimento da soja e sua relação com desenvolvimento das raízes..... 53

Figura 18- Partes componentes da flor de soja..... 54

Figura 19- Estágios de desenvolvimento da soja..... 55

Figura 20- Perfil espectrotemporal médio do NDVI da soja para o sensor MODIS..... 58

Figura 21- Área plantada e produtividade da soja no Brasil entre 1976/1977 e 2017/2018..... 59

Figura 22- Histórico das regiões beneficiadas pelo Projeto PRODECER..... 62

Figura 23- Exemplo conceitual da distribuição de dados no gráfico de *Box-Plot*..... 73

Figura 24- Ilustração da divisão de períodos e anos-padrão pela técnica de Desvio-padrão..... 74

Figura 25- Fluxograma das etapas de desenvolvimento da tese..... 84

Figura 26- Mapa de localização da área de estudo..... 85

Figura 27- Mapa altimétrico, limites das bacias hidrográficas e distribuição espacial das estações da ANA e INMET no entorno de Unaí-MG..... 87

Figura 28- Mapa geomorfológico no entorno de Unaí-MG..... 88

Figura 29- Tipologias climáticas no entorno de Unaí-MG..... 90

Figura 30- Média da precipitação anual no entorno de Unaí-MG: Normais Climatológicas (1981/2010)..... 91

Figura 31- Médias anuais das Temperaturas do ar (A) Mínima, (B) Média Compensada, (C) Máxima e (D) Amplitude: Normais Climatológicas..... 92

Figura 32- (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico mensal das Normais Climatológicas (1981/2010) para as estações situadas no transecto A-B (Oeste/Leste) e C-D (Sul/Norte)..... 93

Figura 33- Uso e ocupação do solo no entorno de Unaí-MG: (A) 2000 e (B) 2014..... 95

Figura 34- Dinâmica de alteração do uso e ocupação do solo nas microrregiões analisadas..... 96

Figura 35- Espacialização dos atributos de Obliquidade e Curtose por estação no entorno de Unaí..... 100

Figura 36- Espacialização das Temperaturas do ar (A) Mínima, (B) Média Compensada, (C) Máxima e (D) Amplitude no entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015..... 102

Figura 37- (A) Espacialização da pluviosidade, (B) Total de dias com precipitação menor que 1mm, (C) Evapotranspiração Potencial, (D) Déficit de Evapotranspiração Relativa no entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015..... 104

Figura 38- Espacialização da (A) Deficiência e do (B) Excedente Hídrico no solo, (C) Diferença entre Excedente e Deficiência Hídrica no Solo e (D) Tipo de Umidade Climática (Im) no entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015..... 107

Figura 39- Gráfico de *Box-Plot* da pluviosidade média mensal entre 1995/1996 e 2014/2015 das 122 estações situadas no entorno de Unaí-MG..... 108

Figura 40- Histograma das médias mensais da precipitação dos anos entre 1995/1996 e 2014/2015 das estações situadas no entorno de Unaí-MG..... 108

Figura 41- Temperatura Média Compensada nas escalas mensal, sazonal e anual no entorno de Unaí-MG: média entre 1995/1996 e 2014/2015..... 111

Figura 42- Pluviosidade mensal, sazonal e anual no entorno de Unaí-MG: média entre 1995/1996 e 2014/ 2015..... 112

Figura 43- Proporção de ocorrências de dias com precipitação menor que 1mm nas escalas mensal, sazonal e anual no entorno de Unaí-MG: média entre 1995/1996 e 2014/2015..... 113

Figura 44- Diferença entre Excedente e Deficiência Hídrica no Solo das médias entre 1995/1996 e 2014/2015 nas escalas mensal, sazonal e anual no entorno de Unaí-MG..... 114

Figura 45- (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico mensal das Médias entre 1995/1996 e 2014/2015 para as estações situadas no transecto A-B (Oeste/Leste)..... 117

Figura 46- A) Climograma e (B) Balanço Hídrico mensal das Médias entre 1995/1996 e 2014/2015 para as estações situadas no transecto C-D (Sul/Norte)..... 118

Figura 47- Espacialização da soma de meses no ano com (A) Deficiência Hídrico no Solo, (B) Excedente Hídrico no Solo e (C) Secos (Gaussen e Bagnouls) no entorno de Unaí-MG: Médias (1995/1996 a 2014/2015)..... 120

Figura 48- Matriz de correlação de Pearson das médias anuais (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) entre 1995/1996 e 2014/2015 no entorno de Unaí-MG..... 122

Figura 49- Gráfico de *Scree Plot* dos autovalores após rotação (Varimax): Médias (1995/1996 a 2014/2015)..... 123

Figura 50- Gráfico de dispersão das cargas fatoriais (1º e 2º fatores) rotacionadas (Varimax): Média Anuais (1995/1996 a 2014/2015)..... 124

Figura 51- Curva de Inércia Intra-grupos: total de unidades climáticas: Médias (1995/1996 a 2014/2015)..... 126

Figura 52- Dendograma (unidades climáticas): Médias (1995/1996 a 2014/2015)..... 125

Figura 53- Mapeamento das unidades climáticas médias (1995/1996 a 2014/2015), suas características médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico nas escalas mensal e anual) e a espacialização das áreas de cultivo de soja da safra 2014/2015 no entorno de Unaí-MG... 127

Figura 54- Abrangência da área de influência das estações em relação às áreas de cultivo de soja no entorno de Unaí-MG..... 132

Figura 55- Matriz de correlação de Pearson das médias anuais (pluviotérmicas e balanço hídrico) das estações em áreas produtoras e não produtoras de soja no entorno de Unaí-MG..... 133

Figura 56- Média mensal dos elementos pluviotérmicos e do balanço hídrico das (A) Áreas Não Produtoras e (B) Áreas Produtoras de soja nas microrregiões do entorno de Unaí-MG..... 135

Figura 57- Gráfico de *Box-Plot* da pluviosidade anual das estações no entorno de Unaí-MG..... 139

Figura 58- Histograma das classes de precipitação mensal por ano no entorno de Unaí-MG..... 139

Figura 59- Espacialização da precipitação anual e média (mm), entre 1995/1996 e 2014/2015..... 141
Figura 60- Espacialização do Desvio anual da pluviosidade (%) em relação à média (mm)..... 142
Figura 61- Espacialização dos anos-padrão no entorno de Unaí-MG (1995/1996 a 2014/2015)..... 144
Figura 62- Transecto A-B da pluviosidade (A) acumulada e (B) desvio em relação à média..... 145
Figura 63- Área de cultivo de soja em relação a área destinada ao plantio de todas as culturas agrícolas temporárias entre as safras 1995/1996 e 2014/2015 por microrregião..... 147
Figura 64- Evolução do cultivo de soja entre as safras 1995/1996 e 2014/2015 por microrregião..... 148
Figura 65- Percentual anual de área plantada de soja por município no entorno de Unaí-MG..... 149
Figura 66- Produtividade média de soja por microrregião..... 150
Figura 67- Produtividade real (IBGE) e produtividade com retirada da tendência tecnológica na produção de soja entre 1995/1996 e 2014/2015 para os 35 municípios produtores no entorno de Unaí-MG..... 152
Figura 68- Desvio da produtividade média anual de soja no entorno de Unaí-MG e suas relações com as anomalias da TSM e os eventos ENOS e ODP..... 151
Figura 69- Produtividade média anual dos municípios produtores de soja no entorno de Unaí..... 153
Figura 70- Variação interanual da produtividade anual da soja por município..... 154
Figura 71- Classificação da produtividade anual da soja por município no entorno de Unaí-MG..... 155
Figura 72- Presença de áreas com irrigação (pivô central) em relação à produção municipal e regional nas lavouras de soja: 2004/2005, 2014/2015 e sua evolução têmporo-espacial..... 157
Figura 73- Ocorrência de lavouras de soja nos municípios produtores e sua relação com as unidades climáticas médias: anos 2004/2005, 2014/2015 e suas variações têmporo-espaciais..... 158
Figura 74- Médias anuais das Temperaturas do ar (A) Mínima, (B) Média Compensada, (C) Máxima e (D) Amplitude: 2004/2005..... 160
Figura 75- (A) Espacialização da pluviosidade, (B) Total de dias com precipitação menor que 1mm, (C) Evapotranspiração Potencial, (D) Déficit de Evapotranspiração Relativa no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2004/2005..... 162
Figura 76- Espacialização da (A) Deficiência e do (B) Excedente Hídrico no solo, (C) Diferença entre Excedente e Deficiência Hídrica no Solo e (D) Tipo de Umidade Climática (Im) no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2004/2005..... 164
Figura 77- Gráfico de *Box-plot* da pluviosidade mensal do ano 2004/2005 no entorno de Unaí..... 166
Figura 78- Histograma da precipitação mensal para o ano 2004/2005 no entorno de Unaí-MG..... 166
Figura 79- (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico (BH) mensal do ano 2004/2005 para as estações situadas no transecto A-B (Oeste/Leste)..... 168
Figura 80- (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico (BH) mensal do ano 2004/2005 para as estações situadas no transecto C-D (Sul/Norte)..... 169
Figura 81- Espacialização da soma de meses no ano com (A) Deficiência Hídrico no Solo, (B) Excedente Hídrico no Solo e (C) Secos (Gaussen e Bagnouls) no entorno de Unaí-MG: 2004/ 2005..... 171
Figura 82- Matriz de correlação de Pearson dos dados climáticos (pluviotérmicos e índices do balanço hídrico climatológico) do ano agrícola 2004/2005 no entorno de Unaí-MG..... 172
Figura 83- Gráfico de *Scree Plot* dos autovalores após rotação (Varimax): ano 2004/2005..... 173
Figura 84- Gráfico de dispersão das cargas fatoriais (1º e 2º fatores) rotacionadas (Varimax): ano agrícola 2004/ 2005..... 174
Figura 85- Curva de Inércia Intra-grupos: total de unidades climáticas do ano 2004/2005..... 174
Figura 86- Dendograma dos agrupamentos (unidades climáticas): ano agrícola 2004/2005..... 175

Figura 87- Mapeamento das unidades climáticas do ano agrícola 2004/2005 no entorno de Unaí-MG: suas características médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico) e a espacialização das áreas de cultivo de soja..... 177

Figura 88- Espacialização por município dos valores de NDVI das áreas de plantio durante o ciclo de crescimento da soja e suas relações com as unidades climáticas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2004/2005..... 181

Figura 89- Valores médios de NDVI das áreas de plantio de soja de acordo com as unidades climáticas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2004/2005..... 182

Figura 90- Manchetes jornalísticas sobre os resultados agrícolas da soja da safra 2014/2015..... 184

Figura 91- Médias anuais das Temperaturas do ar (A) Mínima, (B) Média Compensada, (C) Máxima e (D) Amplitude: 2014/2015..... 186

Figura 92- (A) Espacialização da pluviosidade, (B) Total de dias com precipitação menor que 1mm, (C) Evapotranspiração Potencial, (D) Déficit de Evapotranspiração Relativa no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2014/2015..... 188

Figura 93- Espacialização da (A) Deficiência e do (B) Excedente Hídrico no solo, (C) Diferença entre Excedente e Deficiência Hídrica no Solo e (D) Tipo de Umidade Climática (Im) no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2014/2015..... 190

Figura 94- Gráfico de *Box-Plot* da pluviosidade mensal do ano 2014/2015 no entorno de Unaí..... 191

Figura 95- Histograma da precipitação mensal para o ano 2014/2015 no entorno de Unaí-MG..... 191

Figura 96- (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico mensal do ano 2014/2015 para as estações situadas no transecto A-B (Oeste/Leste)..... 193

Figura 97- (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico mensal do ano 2014/2015 para as estações situadas no transecto C-D (Sul/Norte)..... 194

Figura 98- Espacialização da soma de meses no ano com (A) Deficiência Hídrico no Solo, (B) Excedente Hídrico no Solo e (C) Secos (Gaussen e Bagnouls) no entorno de Unaí-MG: 2014/ 2015..... 197

Figura 99- Matriz de correlação de Pearson dos dados climáticos (pluviotérmicos e índices do balanço hídrico climatológico) do ano agrícola 2014/2015 no entorno de Unaí-MG..... 198

Figura 100- Gráfico de *Scree Plot* dos autovalores após rotação (Varimax): ano 2014/2015..... 199

Figura 101- Gráfico de dispersão das cargas fatoriais (1º e 2º fatores) rotacionadas (Varimax): ano agrícola 2014/2015..... 200

Figura 102- Curva de Inércia Intra-grupos: total de unidades climáticas do ano 2014/2015..... 200

Figura 103- Dendograma dos agrupamentos (unidades climáticas): ano agrícola 2014/2015..... 201

Figura 104- Mapeamento das unidades climáticas do ano agrícola 2014/2015 no entorno de Unaí-MG: suas características médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico) e a espacialização das áreas de cultivo de soja..... 203

Figura 105- Valores médios de NDVI das áreas de plantio de soja de acordo com as unidades climáticas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2014/2015..... 206

Figura 106- Espacialização por município dos valores de NDVI das áreas de plantio durante o ciclo de crescimento da soja e suas relações com as unidades climáticas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2014/2015..... 207

Figura 107- Comparação anual das condições pluviotérmicas, balanço hídrico climatológico e participação dos sistemas atmosféricos e suas contribuições na gênese pluvial no entorno de Unaí: 2004/2005 e 2014/2015..... 210

Figura 108- Índice de participação anual das massas de ar nos anos agrícolas 2004/2005 e 2014/2015 e suas sobreposições com as unidades climáticas no entorno em Unaí-MG..... 211

Figura 109- Total de episódios de frentes frias nos meses de primavera e verão entre os anos agrícolas 1995/1996 e 2014/2015 para Goiás e Distrito Federal..... 214
Figura 110- Índice de participação das massas de ar e suas contribuições para gênese pluvial do período de Inverno dos anos 2004 e 2014 no entorno de Unaí-MG..... 215
Figura 111- Comparação da caracterização pluviotérmica e do balanço hídrico climatológico para o período de Inverno dos anos 2004 e 2014 no entorno Unaí-MG..... 216
Figura 112- Participação dos sistemas atmosféricos nos meses de Inverno dos anos 2004 e 2014 e suas contribuições na gênese pluvial nas estações dos transectos A-B/C-D..... 217
Figura 113- Índice de participação das massas de ar e suas contribuições para gênese pluvial do período de Primavera dos anos 2004 e 2014 no entorno de Unaí-MG..... 222
Figura 114- Comparação da caracterização pluviotérmica e do balanço hídrico climatológico para o período de Primavera dos anos 2004 e 2014 no entorno Unaí-MG..... 223
Figura 115- Participação dos sistemas atmosféricos nos meses de Primavera dos anos 2004 e 2014 e suas contribuições na gênese pluvial nas estações dos transectos A-B/C-D..... 224
Figura 116- Índice de participação das massas de ar e suas contribuições para gênese pluvial do período de Verão dos anos 2004 e 2014 no entorno de Unaí-MG..... 231
Figura 117- Comparação da caracterização pluviotérmica e do balanço hídrico climatológico para o período de Verão dos anos 2005 e 2015 no entorno Unaí-MG..... 232
Figura 118- Participação dos sistemas atmosféricos nos meses de Verão dos anos 2005 e 2015 e suas contribuições na gênese pluvial nas estações dos transectos A-B/C-D..... 233
Figura 119- Índice de Precipitação Padronizada (SPI-1) para os meses de janeiro 2005 e 2015..... 237
Figura 120- Esboço com a caracterização dos elementos ligados ao transporte de umidade na América do Sul para (A) um verão normal e (B) para o verão seco do ano de 2015..... 238
Figura 121- Total de dias no mês com Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)..... 239
Figura 122- Total de dias com Veranico Agrícola, Evapotranspiração Potencial e menor Capacidade de Água Disponível no Solo (CAD) para as estações dos transectos A-B e C-D..... 240
Figura 123- Estimativas de produtividade e de perda de produtividade para as lavouras de sequeiro de soja dos municípios situados nos transectos A-B e C-D: safra 2014/2015..... 241
Figura 124- Índice de participação das massas de ar e suas contribuições para gênese pluvial do período de Outono dos anos 2004 e 2014 no entorno de Unaí-MG..... 245
Figura 125- Comparação da caracterização pluviotérmica e do balanço hídrico climatológico para o período de Outono dos anos 2005 e 2015 no entorno Unaí-MG..... 246
Figura 126- Participação dos sistemas atmosféricos nos meses de Outono dos anos 2005 e 2015 e suas contribuições na gênese pluvial nas estações dos transectos A-B/C-D..... 247

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Época da semeadura e estágios fenológicos de um cultivar de soja de ciclo médio..... 58
Quadro 2- Tipologias climáticas de Nimer..... 71
Quadro 3- Sistemas e características dos subsistemas atmosféricos atuantes na área de estudo..... 78
Quadro 4- Compartimentação geomorfológica no entorno de Unaí-MG..... 86
Quadro 5- Total de falhas nos dados de Temperatura Mínima das 22 estações..... 98
Quadro 6- Total de falhas nos dados de Temperatura Média Comp. das 22 estações..... 98
Quadro 7- Total de falhas nos dados de Temperatura Máxima das 22 estações..... 98
Quadro 8- Total de falhas nos dados de Precipitação das 122 estações..... 98
Quadro 9- Aspectos estatísticos das unidades climáticas médias no entorno de Unaí-MG..... 128

Quadro 10- Frequência relativa (%) e as classes de ano(s)-padrão predominante entre 1995/1996 e 2014/2015 nas estações situadas no entorno de Unaí-MG..... 143

Quadro 11- Frequência anual (%) do total de municípios por classe de produtividade de soja nos anos agrícolas entre 1995/1996 e 2014/2015 no entorno de Unaí-MG..... 156

Quadro 12- Total de meses com Excedente ou Deficiência hídrica nos transectos A-B e C-D no ano agrícola 2004/2005 e seus desvios em relação à média entre 1995/1996 a 2014/2015..... 170

Quadro 13- Aspectos estatísticos das unidades climáticas: 2004/2005..... 178

Quadro 14- Anomalias da temperatura do ar e pluviosidade nos transectos A-B e C-D do mês de janeiro do ano agrícola 2014/2015 em relação à média histórica (1995/1996 a 2014/2015)..... 194

Quadro 15- Total de meses com Excedente ou Deficiência hídrica nos transectos A-B e C-D no ano agrícola 2014/2015 e seus desvios em relação à média entre 1995/1996 a 2014/2015..... 195

Quadro 16- Anomalias do Balanço Hídrico Climatológico nos transectos A-B e C-D do mês de janeiro do ano agrícola 2014/2015 em relação à média histórica (1995/1996 a 2014/2015)..... 196

Quadro 17- Aspectos estatísticos das unidades climáticas do ano agrícola 2014/2015..... 204

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tempo médio de duração das fases fenológicas da soja..... 51

Tabela 2- Descrição dos estágios vegetativos da soja..... 52

Tabela 3- Descrição dos estágios reprodutivos da soja..... 54

Tabela 4- Maiores produtores de soja no mundo em 2016/2017 - milhões de toneladas..... 60

Tabela 5- Tipologias climáticas baseada no Índice de Umidade do Balanço Hídrico..... 70

Tabela 6- Índice de produtividade de acordo com o Desvio-padrão em relação à média..... 82

Tabela 7- Média mensal de R^2 para os modelos de regressão utilizados nos preenchimentos de falhas e estimativas das temperaturas Máxima, Média Compensada e Mínima para 20 anos..... 99

Tabela 8- Frequência das características de obliquidade e curtose dos dados de pluviosidade das estações no entorno de Unaí-MG..... 100

Tabela 9- Caracterização estatística da temperatura do ar nas microrregiões do entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015..... 101

Tabela 10- Caracterização estatística da precipitação e do total de dias secos nas microrregiões do entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015..... 105

Tabela 11- Área ocupada (%) pelas classes do Índice de Umidade (Im) do Balanço Hídrico nas microrregiões do entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015..... 106

Tabela 12- Cargas fatoriais rotacionadas (Varimax), itens comuns e características dos fatores das estações situadas no entorno de Unaí-MG: Médias (1995/1996 a 2014/2015)..... 123

Tabela 13- Área das unidades climáticas médias nas microrregiões do entorno de Unaí-MG..... 125

Tabela 14- Altitude das unidades climáticas médias nas microrregiões do entorno de Unaí..... 129

Tabela 15- Total de estações meteorológicas e pluviométricas nas áreas produtoras e não produtoras de soja e suas relações com as unidades climáticas médias no entorno de Unaí-MG..... 133

Tabela 16- Meses mais frios e quentes das médias de temperatura do ar máxima, média compensada e mínima das áreas não produtoras e produtoras de soja no entorno de Unaí-MG..... 136

Tabela 17- Ranking dos municípios com as maiores áreas de plantio de soja e a soma de suas respectivas contribuições (%) na produção total por ano agrícola no entorno de Unaí-MG. 150

Tabela 18- - Dinâmica temporal de expansão das lavouras de soja entre os anos agrícolas 2004/2005 e 2014/2015 nas unidades climáticas médias nas microrregiões do entorno de Unaí..... 159

Tabela 19- Desvio absoluto (ºC) da média da temperatura do ar nas microrregiões do entorno de Unaí-MG no ano agrícola 2004/2005 em relação à média entre 1995/1996 e 2014/2015..... 161

Tabela 20- Desvio relativo (%) da precipitação e do total de dias secos nas microrregiões do entorno de Unaí no ano agrícola 2004/2005 em relação à média entre 1995/1996 e 2014/2015..... 163

Tabela 21- Área ocupada (%) pelas classes do Índice de Umidade (Im) do Balanço Hídrico nas microrregiões do entorno de Unaí-MG no ano agrícola 2004/2005..... 165

Tabela 22- Cargas fatoriais rotacionadas (Varimax), itens comuns e características dos fatores das estações situadas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2004/2005..... 173

Tabela 23- Área ocupada pelas unidades climáticas no ano agrícola 2004/2005 de acordo com as microrregiões do entorno de Unaí-MG..... 176

Tabela 24- Desvio percentual da área ocupada pelas unidades climáticas no ano agrícola 2004/2005 em relação às unidades médias nas microrregiões do entorno de Unaí-MG..... 179

Tabela 25- total ocupada pelas lavouras de soja no ano agrícola 2004/2005 de acordo com as unidades climáticas localizadas nas microrregiões do entorno de Unaí-MG..... 180

Tabela 26- Desvio absoluto (ºC) da média da temperatura do ar nas microrregiões do entorno de Unaí-MG no ano agrícola 2014/2015 em relação à média entre 1995/1996 e 2014/2015..... 185

Tabela 27- Desvio relativo (%) da precipitação e do total de dias secos nas microrregiões do entorno de Unaí no ano agrícola 2014/2015 em relação à média entre 1995/1996 e 2014/2015..... 187

Tabela 28- Área ocupada (%) pelas classes do Índice de Umidade (Im) do Balanço Hídrico nas microrregiões do entorno de Unaí-MG no ano agrícola 2014/2015..... 191

Tabela 29- Cargas fatoriais rotacionadas (Varimax), itens comuns e características dos fatores das estações situadas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2014/2015..... 199

Tabela 30- Área ocupada pelas unidades climáticas no ano agrícola 2014/2015 de acordo com as microrregiões do entorno de Unaí-MG..... 202

Tabela 31- Desvio percentual da área ocupada pelas unidades climáticas no ano agrícola 2014/2015 em relação às unidades médias nas microrregiões do entorno de Unaí-MG..... 202

Tabela 32- Área total ocupada pelas lavouras de soja no ano agrícolas 2014/2015 de acordo com as unidades climáticas localizadas nas microrregiões do entorno de Unaí-MG..... 206

Tabela 33- Total de dias de veranicos agrícolas em janeiro de 2015 e suas durações mínimas e máximas para as estações dos transectos A-B e C-D situadas em áreas produtoras..... 240

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CNPSo	Centro Nacional de Pesquisa de Soja
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPAC	Centro de Pesquisas Agropecuárias dos Cerrados
CPAO	Centro de Pesquisas Agropecuárias do Oeste
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	*National Aeronautics and Space Administration*
NOAA	*National Oceanic and Atmospheric Administration*
PRODECER	Programa de Desenvolvimento do Cerrado
WMO	*World Meteorological Organization*

LISTA DE SIGLAS

AA	Análise de Agrupamento
AB	Alta da Bolívia
AF	Análise Fatorial
ARM	Armazenamento de Água no Solo
As	Assimetria/Obliquidade
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
BC	Baixa do Chaco
BHC	Balanço Hídrico Climatológico
CAD	Capacidade máxima de água disponível no solo
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CEI	*Crop Enhancement Index*
CP's	Componentes Principais
CSM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
CV	Cavado Atmosférico
C.V.	Coeficiente de Variação
DEF	Deficiência de Água no Solo
Δ	Amplitude/Diferença/Variação
DER	Déficit de Evapotranspiração Relativa
σ	Desvio-padrão
EN	El Niño
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ET_p	Evapotranspiração Potencial
ET_r	Evapotranspiração Real
EXC	Excedente de Água no Solo
FPA	Frente Polar Atlântica
FPA-D	Frente Polar Atlântica em Dissipação
FPA-E	Frente Polar Atlântica Estacionária

FPA-R	Frente Polar Atlântica Repercussão
GOES	*Geostationary Operational Environmental Satellite*
Ia	Índice de Aridez
Ih	Índice Hídrico
Im	Índice de Umidade
IOS	Índice de Oscilação Sul
IT	Instabilidade Tropical
JBN	Jatos de Baixo Nível
K	Curtose
LN	La Niña
LI	Linhas de Instabilidade
Md	Mediana
mEa	Massa Equatorial Atlântica
mEc	Massa Equatorial Continental
mEc-I	Massa Equatorial Continental com Instabilidade Atmosférica
mEc-CV	Massa Equatorial Continental com Cavado Atmosférico
mEc-ZC	Massa Equatorial Continental com Zona de Convergência
Mo	Moda
MODIS	*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*
mPa	Massa Polar Atlântica
mPa-T	Massa Polar Atlântica Tropicalizada
mTa	Massa Tropical Atlântica
mTa-I	Massa Tropical Atlântica com Instabilidade Atmosférica
mTa-CV	Massa Tropical Atlântica com Cavado Atmosférico
mTa-ZC	Massa Tropical Atlântica com Zona de Convergência
mTc	Massa Tropical Continental
mTc-I	Massa Tropical Continental com Instabilidade Atmosférica
mTc-CV	Massa Tropical Continental com Cavado Atmosférico
mTc-ZC	Massa Tropical Continental com Zona de Convergência
NDVI	*Normalized Difference Vegetation Index*
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
R^2	Coeficiente de Determinação
ROC	Radiação de Ondas Curtas
ROL	Radiação de Ondas Longas
Σ	Soma/Total
SF	Sistemas Frontais
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UTC	*Coordinated Universal Time*
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
$\bar{x}$	Média Aritmética
ZC	Zona de Convergência
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 24
2.1 O CLIMA 24
2.1.1 A abordagem dinâmica do clima e o paradigma rítmico 24
2.1.2 Variabilidade climática e suas características no Brasil e na área de estudo 27
2.1.3 Classificação da intensidade da pluviosidade 33
2.1.4 Classificação e mapeamento climático 36
2.3 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO 45
2.4 CARTAS SINÓTICAS E SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL 47
2.5 A SOJA 49
2.5.1 A fisiologia da soja 50
2.5.2 A soja no Brasil 59
3 MATERIAIS E MÉTODOS 64
3.1 DADOS CLIMÁTICOS 64
3.1.1 Critérios para seleção das estações e preenchimento de falhas nos dados 65
3.1.2 Balanço hídrico climatológico e meses secos 67
3.1.3 Análise estatística e definição dos períodos padrão de pluviosidade 72
3.1.4 Mapeamento e regionalização das unidades climáticas 75
3.1.5 Identificação dos sistemas climáticos e Análise Rítmica 77
3.2 PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DE SOJA 80
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 85
5 RESULTADOS 97
5.1 CARACTERIZAÇÃO ANUAL DOS DADOS CLIMÁTICOS 97
5.2 DADOS MÉDIOS: 1995/1996 A 2014/2015 101
5.2.1 Caracterização anual 101
5.2.2 Decomposição temporal: escalas sazonal e mensal 108
5.2.3 Unidades climáticas médias e as áreas produtoras e não produtoras de soja 121
5.3 ANÁLISE ANUAL: 1995/1996 A 2014/2015 138
5.3.1 Variabilidade interanual da pluviosidade 139
5.3.2 Produção de soja no tempo e no espaço 147
5.4 ANO AGRÍCOLA 2004/2005 159
5.4.1 Unidades climáticas do ano agrícola 2004/2005 172
5.5 ANO AGRÍCOLA 2014/2015 184
5.5.1 Unidades climáticas do ano agrícola 2014/2015 198
5.6 ANÁLISE COMPARATIVA DA GÊNESE CLIMÁTICA: 2004/2005 - 2014/2015 209
5.6.1 Anual 209
5.6.2 Inverno 214
5.6.3 Primavera 221
5.6.4 Verão 230
5.6.5 Outono 244
6 CONCLUSÃO 253
REFERÊNCIAS 259
GLOSSÁRIO 275
APÊNDICES 278
ANEXO 307

1 INTRODUÇÃO

A transição de um modo de vida baseado no nomadismo para atividades ligadas ao sedentarismo necessitou que as antigas sociedades promovessem profundas adaptações nos seus estilos de vida, principalmente na forma de obtenção de alimentos. Mazoyer e Roudart (2010) explicam que o desenvolvimento da agricultura por esses grupos sociais veio justamente suprir essa demanda, ao proporcionar o cultivo e a produção de alimentos que poderiam ser estocados e posteriormente consumidos ao longo do ano. Na concepção de Pons (1998), para que o plantio pudesse ocorrer de modo eficiente foi necessário um grande acúmulo de conhecimentos empíricos em relação aos recursos naturais indispensáveis à agricultura, principalmente aqueles relacionados as características minerais e orgânicas dos solos, as condições climáticas propícias para o crescimento das plantas e, por consequência, a escolha de cultivares que melhor se adaptavam as características edafoclimáticas de cada localidade.

Em relação ao clima houve a necessidade de aprimorar a compreensão do seu regime a partir da percepção dos espaços de vivência, buscando definir padrões naturais (ciclos astronômicos, características sazonais da fauna e flora etc.) que pudessem antever ou anunciar parte da variabilidade temporal e espacial dos seus elementos, em especial no que tange o regime pluvial e térmico (MAZOYER E ROUDART, 2010). Esse entendimento possibilitou analisar de forma rudimentar como os atributos climáticos se comportavam no decorrer dos ciclos sazonais e permitiu aproveitar ou melhor adequar o desenvolvimento das culturas agrícolas às condições ambientais. Esse fato proporcionou planejar onde, como e quando seria a situação mais adequadas para o início dos cultivos (TETILA, 1983).

Manosso (2005) analisa que todo o processo de organização das sociedades, desde as mais antigas até as contemporâneas, é fundamentalmente influenciado pelo conjunto de elementos englobados pelo clima. Na concepção do autor, esse processo se dá com maior ênfase na organização do espaço rural, devido aos atributos climáticos serem importantes condicionantes de toda a cadeia produtiva do meio agrícola. Para Ayoade (2007), o clima influencia sobremaneira todos estágios da produção agrícola, interferindo desde o momento de preparação do solo, semeadura, crescimentos dos cultivos, colheita, armazenagem, transporte e comercialização.

Monteiro (1975) considera que a climatologia possui duas linhas de estudo intimamente inter-relacionadas: a primeira diz respeito aos fatores econômicos, no qual o clima cumpre o seu papel de insumidor de recursos que influencia diretamente na organização e produção do espaço; e a segunda de ordem ambiental, quando os produtos da ação humana sobre a atmosfera

são referenciados em termos de qualidade. Nessa perspectiva, o mesmo autor complementa ao afirmar que o ritmo climático desenvolve uma importância crucial nas atividades vinculadas à agricultura, ao possuir papel relevante nos resultados das safras devido ao seu caráter de "legítimo 'insumidor energético'" que acaba impactando a produtividade e os resultados econômicos que dela decorrem (MONTEIRO, 1981, p. 8).

Ayoade (2007) apoia a ideia que o estudo do impacto do clima e sua influência nas diversas atividades da sociedade é uma excelente oportunidade de análise, pois a dinâmica da atmosfera acaba sendo um dos condicionantes primordiais da produção de qualquer tipo de agricultura em ambientes naturais. Nesse sentido, Pinto e Aguiar Netto (2008) explicam que a relação entre clima e a produtividade agrícola estão fortemente vinculados, através da variação quantitativa dos elementos climáticos (temperatura, umidade do ar, balanço de água, etc.) que atuam e determinam o sucesso ou as perdas na produtividade agrícola. Ao abordar o aspecto da influência dos fatores ambientais nas atividades agrícolas, Garcia (1996, p. 169) afirma que "o crescimento e o desenvolvimento das plantas estão condicionados, em maior ou menor grau, pelos elementos do clima, que atuam de forma direta determinando sua evolução e limitando sua expansão".

As intempéries atuam incisivamente na produção de qualquer cultura agrícola e o seu ritmo habitual acaba favorecendo o plantio e o desenvolvimento de diversos tipos de culturas, interferindo na produtividade e qualidade da colheita. Mariano et al. (2006) contribuem no debate ao firmarem que a climatologia agrícola é expressa por seu caráter geográfico, ao buscar evidenciar a influência do ritmo e das variações dos elementos atmosféricos nos impactos positivo ou negativos do ciclo vegetativo de uma cultura, determinando, consequentemente, os altos ou baixos rendimentos das safras.

Oliveira (2010) pondera que a intensidade das excepcionalidades climáticas gera anomalias na manifestação dos atributos climáticos em relação às condições médias esperadas, resultando, em muitos casos, em impactos negativos nos rendimentos dos cultivos e alterando as previsões e planejamentos das safras. Ferreira (2005) destaca que quando essas irregularidades climáticas tendem gerar condições prejudiciais para os cultivos (azar climático), a produção perde eficiência e prejudica o calendário agrícola.

Santos (2002) expõe que o atual estágio de desenvolvimento da produção agrícola, embasado, sobretudo, pelo incremento do mais avançado instrumental tecnológico em consonância com a evolução das pesquisas ligadas à agricultura, proporcionou a adoção de estratégias que visam evitar ou, no mínimo, reduzir os impactos negativos ocasionados pelas adversidades ambientais, principalmente as vinculadas ao ritmo climático.

O autor acima elenca diversas medidas adotadas no meio rural para minimizar as perdas e/ou aumentar a produtividade, destacando as relacionadas ao emprego de insumos agrícolas no cultivo, como por exemplo: melhoramento genético das variedades de sementes adaptadas as diversas condições edafoclimáticas; adequação do calendário agrícola em relação às características climáticas; e o uso de fertilizantes e defensivos agrícolas para inibir e/ou controlar o aparecimento de ervas, pragas e doenças relacionadas as condições climáticas (SANTOS, 2002). Nessa perspectiva, Pereira et al. (2018) explicam que nas últimas décadas ocorreram importantes avanços no entendimento dos mecanismos ligados ao funcionamento dos processos biológicos, físico-químicos e de demanda nutritiva no decorrer do desenvolvimento fenológico das plantas, abrindo possibilidade de melhor compreender suas relações com as características propiciadas por diferentes condições edafoclimáticas. Como resultado, foi possível adequar os calendários agrícolas para o cultivo de diferentes culturas e variedades e, também, adaptá-las geneticamente a diversas regiões climáticas do mundo.

Monteiro (1975, p. 23) destaca que as repercussões do clima sobre o espaço geográfico ocorrem através da dinâmica climática, que por sua vez está "baseada na propriedade intensiva da atmosfera" e no ritmo (série e sucessão) dos tipos de tempo meteorológico. Sob esse contexto Monteiro (1981) explica que a dinâmica climática, e sua consequente variabilidade, é a maior responsável por revelar a natureza e as nuances do clima, determinando como as relações ambientais em superfície influenciarão o desenvolvimento de determinados tipos de culturas agrícolas, principalmente aquelas ligadas à agricultura em larga escala de produção.

Conforme explicam Conte e Furlan (2005), a localização dos "cinturões agrícolas" no mundo possuem configuração espacial muito próxima da distribuição das faixas macroclimáticas do globo. Nessa perspectiva, os cultivos que possuem maior sucesso no seu desenvolvimento acontecem principalmente nas "áreas *core* dos domínios climáticos" (Idem, p. 89), como é o caso da zona tropical úmida e semiúmida do Brasil. Essas regiões são muito utilizadas para práticas agrícolas, por possuírem condições climáticas favoráveis ao crescimento dos cultivos de ciclo vegetativo curto, através da intensidade e duração do fotoperiodismo, pela menor amplitude térmica e pela regularidade temporal da oferta hídrica.

Para Mariano et al. (2006, p. 384), "as chuvas nas regiões tropicais, mais especificamente para as culturas temporárias, é (sic) a que mais condicionam o rendimento pois assumem papel de fornecedora de insumos hídricos para o período fenológico das culturas". Ferreira (2010) acrescenta que, nesse caso, o regime pluvial irá determinar o tempo de duração do crescimento dos cultivares, se opondo às áreas de clima temperado, onde o ciclo de cultivo

e os períodos de plantio e colheita são determinados especialmente pela variação sazonal da temperatura do ar.

Mas são nos anos que o ritmo climático possui características próximas das condições normais/habituais que a produtividade agrícola consegue obter resultados favoráveis, pois ocorre condições propícias de ofertas térmica e hídrica para a pleno desenvolvimento dos cultivares no momento exato em que necessitam ser realizados (BIERAS, 2006).

A influência do ritmo climático na variação pluviométrica pode ocasionar períodos com maior ou menor concentração na quantidade de chuva ao longo do tempo, entretanto, as condições ideais para agricultura estão fundamentadas na distribuição dos totais pluviais no decorrer do crescimento fenológico da planta, evitando, com isso, ocorrência de longo período de estiagem no período chuvoso (veranicos). Os veranicos possuem importante influência na ocorrência de episódios de deficiência hídrica no solo e, consequentemente, no impacto negativo no desenvolvimento dos cultivos, ao atrasar o "período vegetativo e o crescimento, principalmente na última parte do período de floração e desenvolvimento da vagem, provocando forte queda de flores e vagens", como é o caso da soja (MARIANO et al., 2006, p. 385).

Ferreira (2005) aponta que mesmo com todo o avanço tecnológico no campo, as safras agrícolas no Brasil ainda são fortemente dependentes dos insumos climáticos. Desse modo, a variabilidade climática ainda dita o sucesso ou fracasso dos totais colhidos anualmente e impacta positivamente ou negativamente a produtividade final, incluindo o principal produto agrícola nacional: a soja.

Ainda há uma enorme diferença entre as condições climáticas esperadas pelas previsões de médio e longo prazos e o real ritmo climático ocasionado pela sucessão dos tipos de tempo meteorológico e a manifestação dos seus elementos em superfície. A imprevisibilidade climática influencia diretamente as atividades agrícolas e podem frustrar qualquer planejamento prévio, pois as culturas que dependem de insumos climáticos para o seu desenvolvimento acabam sofrendo oscilações naturais de produtividade. Esse cenário é comprovado pelo estudo realizado pela Embrapa (2011), que constatou que as excepcionalidades climáticas ligadas a ocorrência de secas (71%) e excessos de chuvas (22%) foram as principais responsáveis pelas perdas de produtividade nas safras de soja entre 1970 e 2010 no Brasil. Portanto, as adversidades climáticas são uma probabilidade permanente de perda de parte de produção agrícola no país.

A compreensão das condições habituais e excepcionais do clima na produtividade agrícola proporciona o aumento da capacidade de intervenção e preparo para encarar os

prejuízos decorrentes desses fenômenos, principalmente dos estudos que visam analisar como a gênese, a dinâmica e os elementos climáticos influenciam a produtividade agrícola. Esses estudos são fundamentais no planejamento agrícola, ao proporcionar maior entendimento de parte da realidade climática local/regional e ofertar o aporte teórico que propiciará mecanismos de mitigação de possíveis impactos naturais no meio econômico e social.

No campo de estudos vinculados à Climatologia Geográfica, a análise das relações existentes entre o clima e a produtividade agrícola é uma das mais importantes, pois extensas porções da superfície terrestre são destinadas à prática da agricultura. Entretanto, essa temática ainda é pouco explorada nos estudos geográficos, ficando, majoritariamente, a cargo das ciências vinculadas às áreas da agronomia (MONTEIRO, 1981). O autor conclui ao afirmar que os estudos que possuem o objetivo de compreender os mecanismos climáticos e o processo de organização e produção do espaço rural podem ser fortemente potencializados ao serem abordados sob a ótica do ferramental teórico e metodológico da Geografia. Sob essa temática Zavattini (2004) apresenta a existência de poucos estudos sobre a relação do clima com a agricultura a partir da perspectiva do paradigma rítmico preconizado por Monteiro (1971), mas dentre eles destacam-se os trabalhos relacionados a produtividade da cana-de-açúcar, milho e soja, principalmente nas regiões do Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

A área de estudo que esse trabalho propôs investigar ainda é carente de pesquisas detalhadas sobre os impactos do clima, especialmente do ponto de vista da gênese e da dinâmica climática na cultura da soja. Essas características tornam-se ainda mais contundentes no que tange as pesquisas no nível de mestrado e doutorado ligados à Climatologia Geográfica (ZAVATTINI, 2004). Fialho (2010) constatou essa mesma situação, ao analisar que dentre todos os trabalhos publicados nos anais do Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, entre as edições de 1992 e 2008, as pesquisas voltadas à compreensão das relações entre o clima e agricultura corresponderam a 12,5% dos trabalhos na edição de 1996 e, nas edições posteriores, não ultrapassaram o total de 10% das publicações. Este aspecto demonstra a necessidade de mais estudos no país que busquem relacionar a influência climática na produção agrícola na perspectiva teórica e metodológica da Climatologia Geográfica.

A motivação em desenvolver essa pesquisa se deu pela necessidade de um maior aprofundamento do tema que fora anteriormente tratado na pesquisa de mestrado deste autor para o município de Pedro Afonso, no Estado do Tocantins (SILVA, 2013). Porém, diferentemente do que foi abordado pela pesquisa anteriormente desenvolvida (relação do clima e produção de soja para somente um município), esse estudo visa compreender a variabilidade regional dos atributos pluviotérmicos e suas relações com as diferentes escalas espaciais (do

mesoclimático, pela circulação das massas de ar, ao microclimático, pelo balanço hídrico) e temporais (anual, sazonal, mensal e diário) do clima, buscando evidenciar a influência do seu papel positivo e/ou negativo nas variações temporais da produtividade de soja para 35 municípios.

Embasado no panorama exposto, o presente trabalho propõe analisar as relações entre a gênese e dinâmica climática e suas influências na produção de soja em seis microrregiões localizadas entre os Estados de Goiás (microrregião do Entorno de Brasília), Minas Gerais (microrregiões de Januária, Paracatu, Pirapora e Unaí) e o território do Distrito Federal (microrregião de Brasília), nos anos agrícolas de 1995/1996 a 2014/2015. O detalhamento das etapas necessárias para alcançar o objetivo geral foram elencados nos seguintes objetivos específicos:

- espacializar as áreas de cultivo de soja e analisar o comportamento dos plantios (desenvolvimento fenológico) através de técnicas de processamento digital de imagens orbitais do sensor MODIS (NDVI) para dois anos representativos (alta e baixa produtividade);
- compreender a variabilidade têmporo-espacial dos elementos pluviotérmicos a partir da definição dos períodos e anos-padrão de pluviosidade e das características do Balanço Hídrico Climatológico na área de estudo;
- elaborar propostas de unidades climáticas médias e dos anos representativos a partir do emprego de técnicas de análise estatística para os dados climáticos (pluviotérmicos e do Balanço Hídrico Climatológico) e suas relações com os controles de superfície (altitude e topografia);
- identificar a gênese dos principais sistemas atmosféricos atuantes na escala diária e analisar como ocorre a dinâmica e o encadeamento sequencial das massas de ar através do emprego de transectos;
- compreender as principais relações entre os atributos climáticos (temperatura e gênese/ritmo pluvial), o Balanço Hídrico Climatológico e o desenvolvimento fenológico dos cultivos de soja (NDVI) por meio da técnica de Análise Rítmica para anos representativos, buscando padrões espaciais e temporais entre os impactos positivos e negativos nas lavouras e suas relações com as unidades climáticas no entorno do município de Unaí.

A partir dos objetivos expostos (geral e específicos) foram feitas as seguintes perguntas que nortearam o desenvolvimento do trabalho:

1) há relação entre a produtividade da soja e a variabilidade temporal e espacial dos atributos pluviotérmicos?
2) é possível relacionar o desenvolvimento fenológico dos cultivos com os aspectos genéticos do clima?
3) existem áreas que são mais ou menos propícias ao cultivo da soja em função das condições climáticas favoráveis ou desfavoráveis aos plantios?

Diante dos questionamentos elencados acima, foram propostas as seguintes hipóteses:

1) a capacidade antrópica em derivar o meio na área de estudo, através do desenvolvimento das atividades agrícolas vinculadas ao cultivo da soja, é limitada pela relação quantitativa e qualitativa dos fatores econômicos de custo de produção (menor necessidade de irrigação que gera maior retorno financeiro para o produtor) e oferta dos insumos climáticos adequados para o pleno desenvolvimento fenológico dos plantios (regularidade temporal e abrangência espacial dos elementos pluviotérmicos);
2) as oscilações da produtividade de soja no recorte temporal analisado refletem a relação entre os aspectos dinâmicos do clima (ritmo e sucessão das massas de ar) e a variabilidade espacial dos seus elementos nos municípios produtores;
3) as interações entre os atributos atmosféricos e os fatores de superfície, temporalmente e espacialmente delimitadas pelas unidades climáticas, podem acentuar e/ou atenuar as excepcionalidades de seus impactos no cultivo da soja.

Além do atual capítulo de (1) Introdução, a tese está estruturada pelos seguintes capítulos: (2) Fundamentação Teórica, onde serão abordados os principais aspectos conceituais relacionados ao Clima, ao Balanço Hídrico Climatológico e a Soja; (3) Materiais e Métodos, que constará o detalhamento dos dados obtidos e dos procedimentos adotadas no tratamento e análise da tese; (4) Caracterização da Área de Estudo, onde serão explicitadas as principais características geográficas da área de estudo; (5) Resultados, onde serão descritos e explicitados a relação entre as condições climáticas e a produção de soja; (6) Conclusão, referente a síntese dos resultados obtidos e analisados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O CLIMA

2.1.1 A abordagem dinâmica do clima e o paradigma rítmico

Poucos fenômenos naturais são tão caóticos como as variáveis que compõem o sistema climático, através dos aspectos estáticos e dinâmicos da atmosfera que geram complexas combinações espaciais e temporais de manifestação dos seus atributos (temperatura, umidade, pressão etc.) em superfície. Tais fatos podem receber a conotação de singulares, pois a exata reprodução desses fenômenos através de todas as características físicas e químicas em constante interação na atmosfera fazem com que cada dia e em cada localidade tenha peculiaridades únicas e de difícil reprodução natural. Todavia, apesar de praticamente não haver repetição exata das condições observadas e dos valores mensurados, determinados padrões dão origem a um grupo limitado de tipos de tempo meteorológico, cuja sucessão habitual irá ditar em maior ou menor grau o ritmo das atividades humanas na superfície terrestre.

A variabilidade climática afeta qualquer porção da superfície do planeta e pode causar consequências negativas (ambientais, econômicas e sociais) em qualquer tipo de sociedade, até mesmo nas mais desenvolvidas. Essa oscilação na sequência esperada das condições atmosféricas afeta tanto a área urbana como também a área rural (SANTOS, 2005).

De acordo com Sorre (1951), o clima deve ser compreendido pela série de estados da atmosfera em sua sucessão habitual, através da atuação de diferentes sistemas atmosféricos que influenciarão a gênese, a duração, a intensidade e os impactos resultantes da variação dos elementos climáticos em superfície. O francês Pédelaborde (1991), um dos precursores dos estudos da Climatologia Dinâmica, utilizou-se desses pressupostos para desenvolver estudos de cunho pragmático que visavam incorporar os avanços da Meteorologia Sinótica à Climatologia Geográfica, tendo como principal trabalho o estudo do clima na bacia parisiense, publicado originalmente em 1959. Pédelaborde incorpora em seus estudos o conceito de “tipos de tempo”, porém ainda trabalha com a ideia de que a sua totalidade serviria como base para caracterizações climáticas, ao enfocar mais os aspectos genéticos (origem dos sistemas atmosféricos) em detrimento dos aspectos dinâmicos ou rítmicos (encadeamento temporal dos sistemas atmosféricos), conforme apontam Zavattini e Boin (2013).

No Brasil, Monteiro (1951) começa a traçar uma nova proposta de estudos para a climatologia brasileira, que teve seu princípio com o trabalho da relação do clima do Centro-

Oeste brasileiro com os fatores geográficos, objetivando conceber o seu nível de influência nas esferas humanas e ambientais em superfície.

Mas foi no início da década de 1960 que Monteiro (1962) propõe um novo método de estudo e classificação climática, ao buscar enfatizar a gênese atmosférica com os mecanismos vinculados a sequência dos tipos de tempo meteorológico. Essa proposta visava contrapor o padrão amplamente difundido e utilizado pelos estudos geográficos de caracterização analítica do clima, pautado no uso e na interpretação dos dados médios dos atributos climáticos. Ayoade (2007) explica que estes estudos analíticos, apoiados pelos conhecimentos do campo da Meteorologia Clássica por nomes como Julius Hann e Köppen, ainda são amplamente difundidos e empregados nos estudos e na caracterização dos aspectos climáticos. O grande empecilho encontrado ao se trabalhar com dados médios é que eles não refletem os dados reais, já que as médias representam abstrações estatísticas de um conjunto de dados. De acordo com Monteiro (op cit.), para compreender o "verdadeiro" clima local/regional é necessário analisar os dados sob outro viés, o qual considera avaliar o clima sob um olhar dinâmico que está em constante transformação. Nas palavras do autor, essa visão do objeto de estudo climático iria ao encontro dos propósitos básicos da Climatologia Geográfica.

Em 1963 o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) lança o quarto volume da série "Geografia do Brasil", com o trabalho sobre as características geográficas da Região Sul do país (MONTEIRO, 1963). Neste trabalho Monteiro desenvolve um estudo do clima dessa macrorregião brasileira utilizando-o como um laboratório para aplicar os conhecimentos advindos dos estudos genéticos na compreensão da dinâmica climática ao longo do ano.

O trabalho de sistematização metodológica de Monteiro dentro dos estudos de clima para o Brasil prosseguiu com a publicação do artigo "Sobre a participação das massas de ar e suas possibilidades de aplicação à classificação climática" (MONTEIRO, 1964). Este estudo ressalta a importância da classificação da gênese climática através da incorporação da proposta de participação das massas de ar na delimitação zonal dos climas, ao auxiliar no entendimento dos climas regionais. Ainda neste trabalho, o autor enfatiza a necessidade de compreender a dinâmica das massas de ar como sendo a própria definição do clima. Sant'anna Neto (2004) e Zavattini e Boin (2013) ponderam que neste estágio Monteiro vai aos poucos transcendendo os métodos desenvolvidos por Pédelaborde, pois vai além da descrição da gênese atmosférica ao buscar compreender também a dinâmica e o ritmo climático. Essa proposta de entendimento do clima aproxima Monteiro dos preceitos advindos de Max Sorre (1951).

Na tese de doutorado de Monteiro (1969), o autor utiliza os conhecimentos adquiridos sobre a dinâmica climática da Região Sul, juntamente com outros trabalhos no Estado de São

Paulo e áreas circunvizinhas, para estudar as influências da "Frente Polar Atlântica e as Chuvas de Inverno na Fachada Sul-Oriental do Brasil". Nesse trabalho Monteiro propõe que a abordagem dinâmica da Análise Rítmica não possui o intuito invalidar ou substituir a abordagem analítica tradicional, mas, na verdade, complementar tais proposições com o objetivo de aperfeiçoar o entendimento do clima através de métodos quantitativos e qualitativos. Zavattini e Boin (2013) reforçam tal posição, ao apresentar a abordagem dinâmica de modo complementar à abordagem analítica os estudos climatológicos ao analisar a porção oeste do Estado de São Paulo.

No ano de 1971, Monteiro conclui o processo de construção de uma nova proposta para se entender a dinâmica climática, chegando o mais próximo do conceito de clima preconizado por Sorre (1951), ao possibilitar sua operacionalização através da técnica de Análise Rítmica (MONTEIRO, 1971; MONTEIRO et al.,2015). Esta técnica visa compreender a atuação das massas de ar em nível regional através de sua sucessão em escala diária, conjuntamente com a manifestação dos seus elementos em superfície e a influência dos fatores geográficos locais (altitude, geomorfologia, hidrografia, vegetação, etc.), que nortearão a singularidade climática de cada localidade. Ao longo da sua trajetória dentro dos estudos relacionados ao clima, além de propor uma metodologia para analisar a dinâmica climática, Monteiro lançou as bases para uma Escola de Climatologia Geográfica Brasileira (SANT'ANNA NETO, 2004; ZAVATTINI, 2004) que possibilitou o desenvolvimento de outros trabalhos do próprio autor, além de inúmeras contribuições de seus seguidores no decorrer das décadas subsequentes que consideraram o paradigma rítmico como o método para compreender a dinâmica climática.

Nesta perspectiva, estudos que visam buscar o entendimento da sucessão dos tipos de tempo meteorológico têm como intuito analisar as atuações das massas de ar em seus constantes embates, visando compreender a gênese e a dinâmica climática que ocasionam tais características. A principal contribuição deste método é a preocupação de buscar entender a gênese climática na concepção do encadeamento sequencial dos sistemas atmosféricos, possibilitando compreender quais mecanismos são os responsáveis pela variabilidade habitual e excepcional (alta pluviosidade e secas, por exemplo) do clima. Com isso, o clima consegue ser percebido além das abstrações estatísticas (médias aritméticas ou o somatório dos seus elementos para definir as características climáticas locais/regionais) que mascaram o seu caráter dinâmico, tendo em vista que as médias não afetam as atividades humanas no espaço geográfico. Portanto, as excepcionalidades são reais, enquanto as médias são abstrações (elas "não existem", pois são calculadas a partir dos dados brutos) que apresentam somente uma

importância limitada para os propósitos geográficos do estudo do clima, valendo-se apenas como esforço introdutório para a caracterização climática sobre um dado local.

Sob a ótica da Climatologia Geográfica, as médias não devem ser usadas como única fonte para estudos de caracterizações climáticas locais ou regionais, pois seus dados dão uma visão geral da tendência dos elementos atmosféricos ao longo do tempo, mas que sempre acabam resultando em generalizações e negligência de acontecimentos que fogem do esperado, ou seja, transcendem das condições habituais. Como a Geografia está interessada no entendimento das relações entre os aspectos físico-naturais e a sociedade, é fundamental que o foco principal dos estudos climáticos seja o maior interesse pela variabilidade real da atmosfera (retratada pelos dados absolutos, e não pelas médias), considerando sua capacidade concreta de interferir no espaço geográfico e nas atividades humanas.

2.1.2 Variabilidade climática e suas características no Brasil e na área de estudo

Ribeiro (1993), Sant'Anna Neto (2003) e Mendonça e Danni-Oliveira (2009) apontam que a variabilidade do clima decorre da interação dos fatores climáticos estáticos (latitude, altitude, maritimidade/continentalidade, gradiente topográfico, orientação e as formas das vertentes, etc.) e dinâmicos (atividade solar, circulação das correntes oceânicas e do sistemas atmosféricos, uso e ocupação do solo, etc.) que atuam em conjunto e hierarquicamente nas diferentes ordens de grandeza conforme as escalas espaciais (clima zonal, clima regional, mesoclima ou clima local, topoclima e microclima) e temporais (segundos, minutos, horas, dias, meses, anos, décadas, séculos, etc.).

A variabilidade climática ao longo do ano no território brasileiro está intrinsicamente relacionada aos fatores climáticos das escalas zonal (o movimento de translação, o ângulo de inclinação da Terra e a latitude) e regional (a circulação atmosférica, a maritimidade e continentalidade e a compartimentação geomorfológica). Barry e Chorley (2012) explicam que os fatores na escala zonal influenciam na incidência desigual da radiação solar de ondas curtas (ROC) no planeta e impacta diretamente na capacidade de aquecimento da superfície devido a interação com as características geográficas e as propriedades físico-químicas dos seus materiais. Os autores complementam que, consequentemente, o aquecimento da atmosfera é impactado pela maior ou menor capacidade da superfície em emitir radiação de ondas longas (ROL), o que acaba gerando alterações no balanço de radiação global no sistema terrestre entre as diferentes épocas do ano.

Dentre os fatores relacionados a insolação, a latitude destaca-se por determinar o ângulo de incidência solar (quanto mais perpendicular maior é o aquecimento) e na quantidade anual

de horas de sol, implicando no surgimento de áreas mais aquecidas (principalmente as regiões equatorial e tropical) e de áreas mais frias (próximo aos polos) no globo. O aquecimento diferencial da superfície entre o verão e o inverno nos hemisférios norte e sul favorece a formação, o enfraquecimento e intensificação de núcleos alta e baixa pressão nos continentes e nos oceanos, resultando em diferenças barométricas que agem diretamente e/ou indiretamente na dinâmica regional das massas de ar no continente sul-americano, sobretudo no que tange a extensão de suas atuações e poder de influência no território brasileiro (BORSATO, 2016).

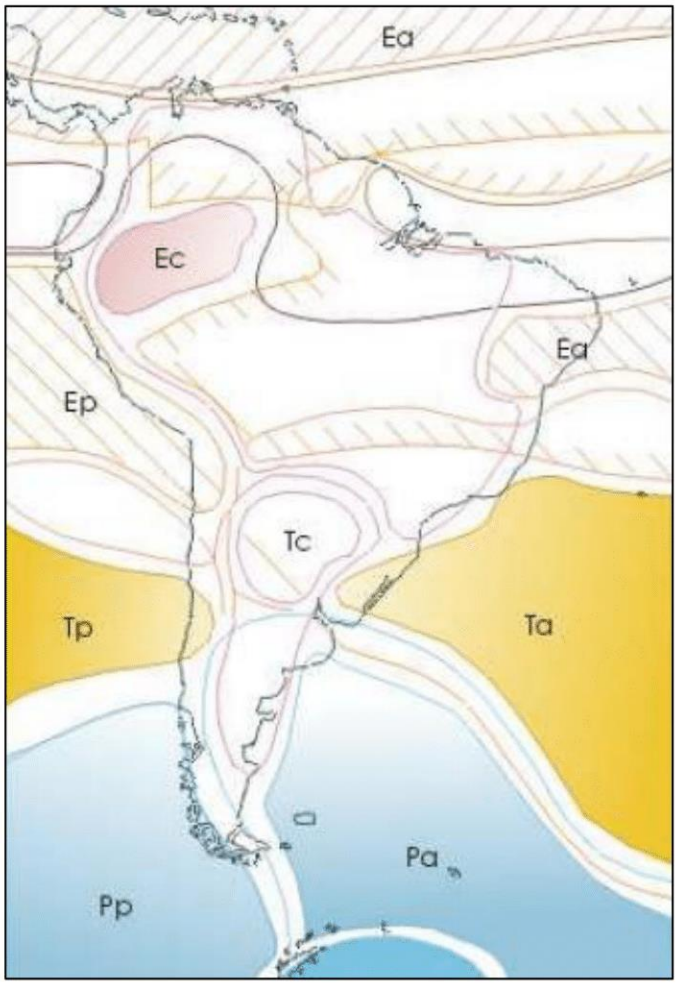
As estações da primavera e outono são caracterizadas como sendo períodos de transição da sazonalidade climática para a maioria dos climas regionais do Brasil, principalmente por serem a passagem entre os períodos habitualmente mais chuvosos (verão) e os mais secos (inverno). Pinto e Aguiar Netto (2008) enfatizam que tais diferenças, aliado ao movimento de rotação do planeta Terra, estão vinculadas ao deslocamento e ao transporte de energia e matéria por convecção e advecção do ar através das massas de ar.

A sucessão dos tipos de tempo meteorológico é fruto da constante dinâmica atmosférica proporcionada pelas massas de ar, que de acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2009, p. 99), podem ser definidas como "uma unidade aerológica, ou seja, uma porção da atmosfera, de extensão considerável, com características térmicas e higrométricas homogêneas", as quais são classificadas segundo sua área de origem e segundo a sua natureza.

Borsato (2016) explica que a extensão latitudinal do território brasileiro, que se estende desde a faixa equatorial até a zona temperada do globo, ao sul do Trópico de Capricórnio, expõe o país a influência de sistemas atmosféricos com características térmicas de natureza Equatorial, Tropical e Polar. Já a distribuição longitudinal do continente sul-americano possibilita a ação de subsistemas de origem continental e marítimo que influenciam com distintas condições hígricas as diferentes localidades do país, proporcionando maior aporte de umidade nas proximidades da faixa costeira e reduzindo gradativamente sua quantidade à medida que se distancia do Oceano Atlântico e adentra o continente.

Na Figura 1 pode ser observada a média de atuação das massas de ar sobre a América do Sul ao longo do ano, além da classificação que, embora baseada em aspectos analítico-separatistas, fornece uma visão geral sobre sua distribuição espacial no país.

Figura 1 - Síntese das áreas de atuação dos sistemas atmosféricos na América do Sul.

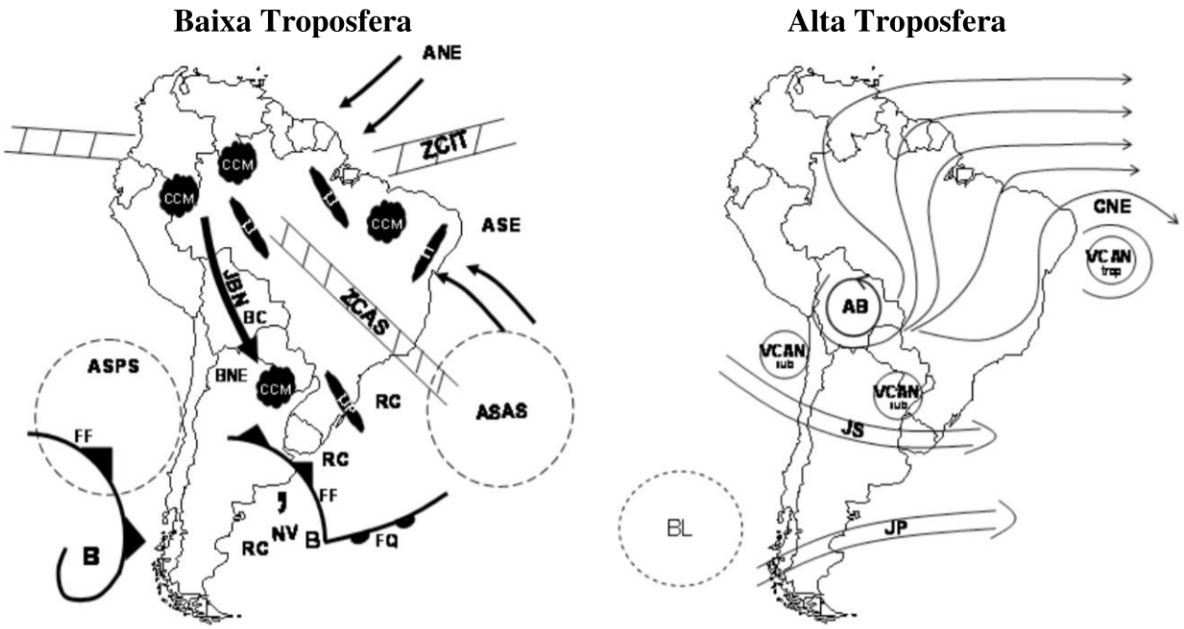


Fonte: MONTEIRO, 1973.

Cabe destacar que esse material iconográfico é limitado em representar o poder de atuação das massas de ar no território brasileiro, principalmente, ao apresentar "vazios" em praticamente toda a parte interiorana do país. Na porção central do Brasil ocorre mecanismos de circulação atmosférica na baixa e alta troposfera, que estão relacionados: aos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) e aos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM); a Instabilidade Tropical (IT) e as Linhas de Instabilidade (LI); os Jatos de Baixo Nível (JBN) e os Sistemas Frontais (SF); a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); etc. (Figura 2).

Todavia, por mais que falte um maior rigor no trato de alguns detalhes, a Figura 1 possibilita inferir como ocorre a média da atuação das massas de ar no Brasil no ano, porém é importante ressaltar que essa visão deve ser percebida além da forma "estática", ou seja, deve-se adotar como critério basilar o entendimento do clima como um sistema dinâmico e caótico em constante transformação, que sofre influência de fatores internos e externos que condicionam os seus *inputs* e *outputs* (MONTEIRO, 2000).

Figura 2 - Representação esquemática dos sistemas atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul ao longo do ano.



BAIXA TROPOSFERA: **ANE** ventos alísios de nordeste, **ASE** ventos alísios de sudeste, **ASAS** anticiclone subtropical do Atlântico Sul, **ASPS** anticiclone subtropical do Pacífico Sul, **B** baixa pressão, **BC** baixa do Chaco – região de baixas térmicas, **BNE** região de baixas térmicas no noroeste argentino, **CCM** complexo convectivo de mesoescala, **FF** frente fria, **FQ** frente quente, **JBN** jato de baixos níveis a leste dos Andes, **LI** linha de instabilidade tropical, **LIP** linha de instabilidade pré-frontal, **NV** nuvem vírgula, **RC** regiões ciclogenéticas, **ZCAS** zona de convergência do Atlântico Sul e **ZCIT** zona de convergência intertropical. ALTA TROPOSFERA: **AB** alta da Bolíva, **BL** bloqueios atmosféricos, **CNE** cavado do nordeste do Brasil, **JS** jato subtropical, **JP** jato polar, **VCAN sub** vórtices ciclônicos de altos níveis subtropicais, **VCAN trop** vórtices ciclônicos de altos níveis tropicais.

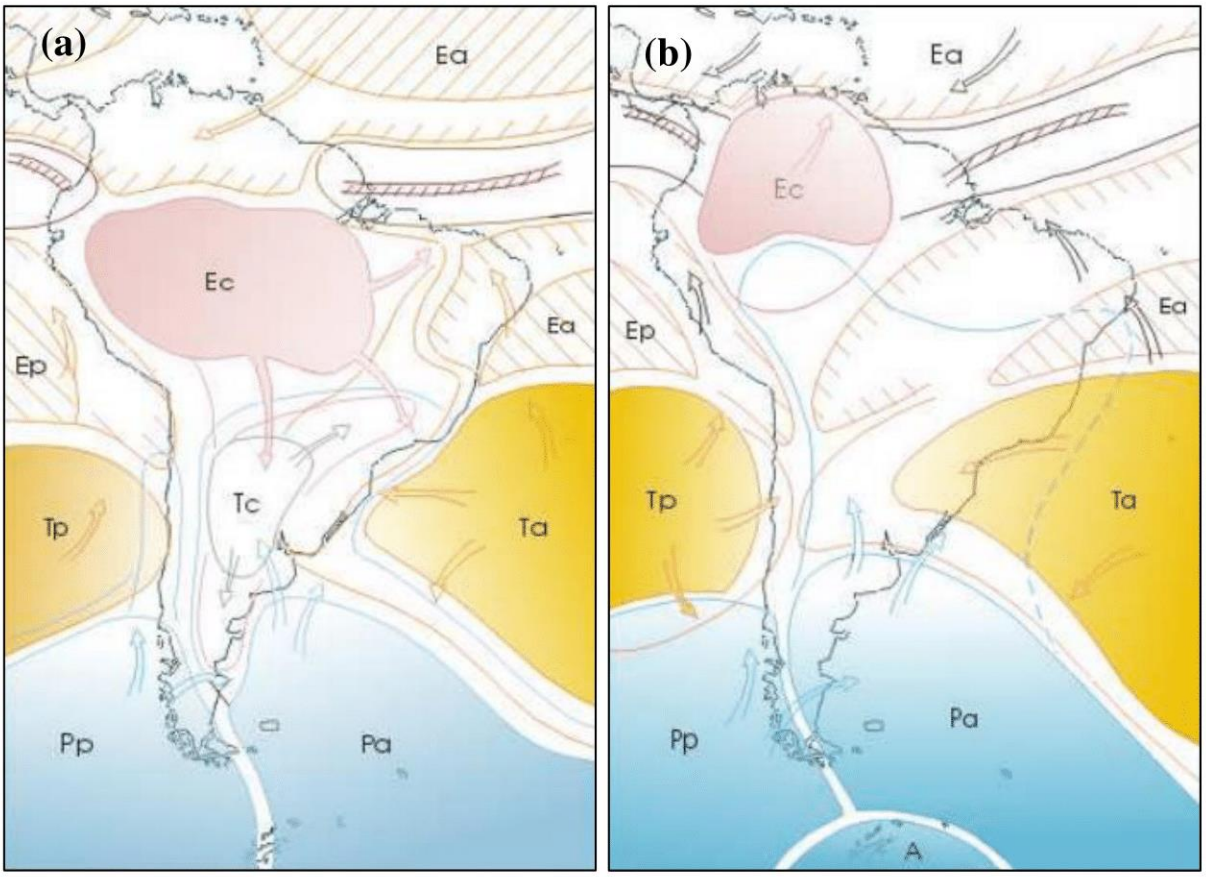
Fonte: REBOITA et al., 2010.

Logo, a variação irregular da distribuição espacial de energia solar no sistema climático e o aquecimento diferencial da atmosfera no transcorrer do movimento de translação da Terra resultam no principal *input* que alimenta diretamente e indiretamente a intensidade, a duração e a abrangência dos sistemas atmosféricos no território brasileiro, os quais são fundamentais na variabilidade climática e na manifestação dos seus elementos ao longo do ano. Nessa perspectiva, a Figura 3 apresenta uma tentativa de representar a extensão geográfica relacionada ao alcance das massas ar no território brasileiro nos períodos contraste das características climáticas: o verão e o inverno. É importante destacar que essa concepção teórica da realidade não consegue simbolizar as excepcionalidades decorrentes da maior ou menor intensidade de atuação dos sistemas atmosféricos, os quais podem ser potencializados ou limitados em relação a capacidade de influenciar as diferentes porções do território brasileiro.

Ao analisar a Figura 3a a partir das explicações de Borsato (2017) é possível verificar que no verão a Massa Tropical Atlântica (mTa) atua mais próxima as regiões situadas nas fachadas litorâneas à Leste (Sul, Sudeste e parte do Nordeste brasileiro), devido ao maior aquecimento do continente proporcionar a limitação do poder de penetração do braço

continentalizado da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) para as localidades situadas mais à Oeste. O maior aquecimento do centro do continente nesse período do ano favorece a intensificação e atuação preponderante de duas massas de ar na porção ocidental do interior do Brasil, através: da Massa Tropical Continental (mTc) ao sul, ligada a circulação de altos e baixos níveis da atmosfera em virtude da atuação da Alta da Bolívia (AB) e da Baixa do Chaco (BC); (b) da mEc ao norte, formada pelo centro de baixa pressão no alto Amazonas por onde fluem os ventos marítimos de norte e de leste, sendo a principal contribuinte dos altos quantitativos de chuva em boa parte das Regiões Norte e Centro-Oeste do país. A Massa Equatorial Atlântica (mEa) está relacionada à atuação dos ventos alísios devido ao deslocamento mais ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) pelo maior aquecimento do Oceano Atlântico, sendo a principal responsável pelos maiores volumes pluviométricos de grande parte das Regiões Norte e Nordeste do Brasil (BORSATO, 2016).

Figura 3 - Síntese da atuação dos principais sistemas atmosféricos na América do Sul em (a) janeiro e (b) julho.



Fonte: MONTEIRO, 1973.

Em contraposição, a Figura 3b exemplifica que na estação do inverno essa configuração sofre modificações em relação ao verão, através do aumento ou diminuição do poder de atuação

e abrangência dos sistemas atmosféricos e, consequentemente, em relação aos seus índices de participação. O principal sistema atuante no inverno em grande parte das Regiões Sul e Sudeste e até em latitudes mais baixas das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do país, corresponde à mTa. O poder de atuação da mTa está ligado a intensificação do ASAS, a qual aumenta sua capacidade de adentrar de modo mais significativo as localidades situadas à oeste devido ao maior resfriamento do continente nessa época do ano proporcionar menor capacidade de formação de núcleos ciclônicos de baixa pressão. Ao adentrar o continente, a mTa resulta no aumento da temperatura em superfície devido as suas características barométricas de circulação anticiclônica proporcionarem o aumento da temperatura do ar por aquecimento adiabático (circulação descendente dos ventos das camadas superiores da atmosfera), além de possuir características hígricas de baixa umidade do ar em razão da perda gradativa da umidade oceânica ao longo do seu trajeto rumo ao interior do continente sul-americano.

No período do inverno ocorre a limitação de expansão da mEc pelo predomínio do braço continentalizado da mTa, ficando sua atuação restrita às regiões do alto Amazonas e Rio Negro. A contração da mEc e o deslocamento da ZCIT ao norte da Linha do Equador possibilita uma maior presença da mEa no interior dos estados das Regiões Norte e Nordeste, cedendo lugar no alto e médio Amazonas à mEc. Nesse período do ano também há maior presença da atuação da Massa Polar Atlântica (mPa) que transporta pelo processo de advecção o frio das regiões polares rumo às baixas latitudes. Nimer (1989) explana que as incursões da mPa no território nacional ocorrem a partir da Região Sul do país e, dependendo da sua intensidade e vigor, podem deslocar-se sobre vastas extensões do Brasil, podendo, excepcionalmente, alcançar baixas latitudes dos estados das regiões Norte e Nordeste.

A configuração temporal e espacial da sucessão dos sistemas atmosféricos sofre influência de fatores climáticos dinâmicos em escalas hierarquicamente superiores, como por exemplo, a ciclicidade das anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) que produzem alterações do clima na escala zonal. Cavalcanti e Ambrizzi (2009) explicam que esse fenômeno gera eventos de teleconexões do clima que provocam perturbações na pressão, no vento e na convecção tropical que alteram os padrões de circulação atmosférica e influenciam regiões distantes em relação a área de origem desses fenômenos.

Um exemplo de teleconexão amplamente reconhecida e relatada pela literatura científica das áreas da meteorologia e climatologia refere-se as anomalias da TSM nas regiões equatorial e tropical do Oceano Pacífico, denominadas de El Niño - Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Dias e Marengo (2002) explicam que o ENOS é um evento acoplado entre o oceano e a atmosfera de alta frequência (2 a 5 anos), composto por

duas fases, o El Niño (EN, aquecimento) e a La Niña (LN, resfriamento). Sua duração é de 6 a 18 meses que resultam em impactos na circulação atmosférica em diferentes localidades do planeta, inclusive no Brasil. A ODP é um evento cíclico de longa frequência, diretamente vinculado aos mecanismos de ocorrências e intensidade dos episódios de ENOS. Ela possui uma fase positiva ou quente e outra negativa ou fria, com periodicidade aproximada de 20 a 30 anos para cada fase, podendo intensificar e/ou atenuar os episódios de EN/LN quando atuam em conjunção (KAYANO; ANDREOLI, 2009).

2.1.3 Classificação da intensidade da pluviosidade

Uma das principais técnicas utilizadas na Climatologia Geográfica para identificar padrões na variabilidade climática local/regional é a segmentação e classificação dos totais pluviométricos acumulados no decorrer de um lapso temporal, denominado de "período-padrão" (escalas mensal ou sazonal) ou "ano-padrão" (escala anual). Essa técnica possibilita identificar variações no regime pluviométrico de um determinado local a partir dos padrões de normalidade e/ou excepcionalidade da precipitação ao longo do tempo. A segmentação da pluviometria baseia-se na definição de classes conforme suas características quantitativas, levando em consideração a recorrência, a amplitude (mínimos e máximos), a dispersão e a distribuição (simétrica ou assimétrica) estatística dos dados.

De modo geral, as classes quantitativas geradas a partir do agrupamento da precipitação são categorizadas de forma qualitativa, ao discretizar os dados pluviométricos conforme a intensidade e frequência dos fenômenos, mas que tendem a generalizar as variações ao adotar os seguintes aspectos: os eventos que ocorrem com maior regularidade são distinguidos por estarem dentro ou próximo da média estatística dos dados, sendo denominados como períodos Normais ou Habituais; os totais acumulados de chuva que estão estatisticamente situados entre os intervalos de classe Habitual/Normal e os dados extremos são classificados como dados intermediários, sendo definidos como períodos Secos (desvios negativos) ou Chuvosos (desvios positivos); e os quantitativos pluviométricos que estão próximos aos limites superior e inferior do conjunto de dados são considerados eventos intensos e estão vinculados a períodos de adversidade pluviométrica (Muito Chuvoso ou Muito Seco), além de serem caracterizados como fenômenos de recorrência mais rara.

A nomenclatura e a quantidade das classes variam conforme o método adotado, de maior detalhamento ou generalização do fenômeno a ser analisado. Nesse aspecto, o uso de diferentes métodos estatísticos para um mesmo conjunto de dados resultará em distintas propostas de classificação e sistematização dos agrupamentos em subconjuntos, mas que sempre visam

expressar as classes que categorizam a intensidade das chuvas ao longo do tempo. Essas diferentes classificações estão relacionadas à definição dos limiares quantitativos de segmentação interclasses, que influenciam na quantidade de agrupamentos e resultam em distintas distribuições de frequências absoluta e relativa em cada divisão dos dados.

Dentre as técnicas estatísticas comumente usadas pela Climatologia Geográfica para a definição dos anos-padrão, destacam-se: a fórmula de Sturges (1926, apud GERARDI; SILVA, 1981), o Desvio-padrão em relação à média (SANT'ANNA NETO, 1990), o Desvio Percentual das Precipitações (TAVARES, 1976), a Análise de Agrupamento (JÁCOMO, 2011), o Quantis (PINKAYAN, 1966) e o *Box-Plot* (GALVANI; LUCHIARI, 2012).

O estudo de Zandonadi (2009) sobre o regime temporal e espacial das chuvas na bacia hidrográfica do Rio Paraná propôs a definição de anos-padrão para os totais pluviométricos acumulados anualmente de 96 estações da Agência Nacional de Águas (ANA), entre 1976 e 2005. Foram utilizados como critérios de segmentação da pluviosidade as técnicas de Sturges e Quartil, as quais contemplaram oito classes quantitativas que, ao final, foram sintetizadas em quatro classes qualitativas de predomínio têmporo-espacial (Seco, Habitual, Chuvoso e Misto).

Sant'Anna Neto (1990) aplicou o método dos anos-padrão para determinar quais episódios seriam mais representativos na gênese pluvial da zona costeira paulista entre os anos de 1967 e 1986. Foram utilizadas as técnicas de análise de agrupamento e coeficiente de variação para delimitar cinco classes de pluviosidade: Secos, Tendências Secas, Habituais ou Normais, Tendências Chuvosas e Chuvosos.

Schneider et al. (2012), propuseram a segmentação das variações pluviométricas da porção centro sul do Estado de Mato Grosso do Sul, nas escalas sazonal e anual, pela técnica de "Desvio Percentual das Precipitações Sazonais", definindo três classes de intensidade (Seco, Habitual e Chuvoso) entre os anos de 1980 e 2009.

A técnica de Desvio-padrão em relação à média foi utilizada por Sant'Anna Neto (1995) no estudo sobre a distribuição espacial e a evolução temporal da pluviosidade no Estado de São Paulo, entre os anos de 1941 e 1993. O autor definiu cinco classes de anos-padrão: Seco, Tendente a Seco, Habitual, Tendente a Chuvoso e Chuvoso.

A definição de padrões anuais de chuva pela técnica dos Quantis foi aplicada por Almeida et al. (2013) para as microrregiões geográficas do Brejo e Cariri paraibano, ao utilizarem os totais pluviais entre os anos de 1960 e 2010 para classificar cinco subconjuntos de dados, conforme os seguintes percentis: Muito Seco (<15%), Seco (entre 15% e 35%), Normal (entre 35% e 65%), Chuvoso (entre 65% e 85%) e Muito Chuvoso (>85%).

Outro método de distribuição dos totais pluviométricos em agrupamentos foi aplicada por Galvani e Luchiari (2012) para Piracicaba (SP) entre os anos de 1917 a 1994, ao utilizarem a técnica de *Box-Plot* para definir cinco classes de precipitação através dos seguintes percentis: de 0% a 5% (Super Seco); de 5% a 25% (Seco); 25% a 75% (Normal); de 75% a 95% (Úmido); e 95 a 100% (Super Úmido). Essa técnica serviu de embasamento teórico e metodológico para que Silva et al. (2017) identificassem os padrões secos, normais, chuvosos e com ocorrência de eventos extremos para os municípios mineiros de Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas.

A Análise de Agrupamento Hierárquico, pertencente as técnicas de Análise Multivariada, visa diminuir a variabilidade entre os dados através da formação de grupos internamente homogêneos, mas que ao mesmo tempo devem possuir alta heterogeneidade em relação aos elementos dos outros grupos. Essa técnica foi utilizada por Jácomo (2011) para definir três classes de anos-padrão (Seco, Habitual e Chuvoso) para os dados de pluviosidade de 108 estações pluviométricas situadas na porção oeste do Estado de São Paulo, relativo aos anos de 1970 a 2000.

Silvestre et al. (2013) discutiram sobre as diferentes técnicas de classificação de anos-padrão por meio de análise estatística, ao utilizarem como exemplo as precipitações anuais da Estação Meteorológica da FCT/UNESP de Presidente Prudente (período de 1961 a 2010). Para fins de comparação, foram definidas 5 classes de pluviosidade pelas técnicas de Sturges, *Box-Plot* (percentis de 5%, 25%, 75% e 95), Quantis (percentis de 15%, 35%, 65%, 85%), Desvio-padrão em relação à média e seis métodos de Agrupamento Hierárquico (Ligação Simples, Ligação Completa, Ligação Média, Ligação Mediana, Ligação de Centróides e Ward). Os autores concluíram que não há um consenso sobre qual é a melhor técnica, devido as características estatísticas relacionadas a cada uma delas. Porém, eles apontam que as técnicas de Sturges, Desvio-padrão e os métodos de Agrupamentos Hierárquicos geram totais relativos de frequência que sintetizam a forma simétrica ou assimétrica da distribuição dos dados, diferentemente do que ocorre com as técnicas de *Box-Plot* e Quantis, que tendem a produzir uma distribuição simétrica das frequências observadas e relativas ao não levarem em consideração que a distribuição dos dados de origem possa ser assimétrica.

Em suma, a diferenciação das classes de pluviosidade em diferentes períodos de tempo (mensal, sazonal e anual) está diretamente vinculada com a variabilidade temporal das chuvas, as quais estão, consequentemente, vinculados à gênese, à dinâmica e ao ritmo de atuação dos sistemas atmosféricos em escala regional.

2.1.4 Classificação e mapeamento climático

A compartimentação do espaço, agrupando componentes por critério de semelhança ou relativa homogeneidade, tem por finalidade a identificação de padrões e detecção de processos ligados a causa (gênese ou origem do evento/fenômeno) e efeito (consequência ou resultado), proporcionando uma visão mais aproximada da realidade do objeto de estudo a partir de enfoque sistêmico.

A aparente afinidade revelada por critérios de homogeneidade pode indicar relações genéticas e processuais que têm o potencial de se constituir em critérios para individualização de unidades. As unidades de clima no Brasil definidas por Nimer (1989) apontam para esse aspecto ao relacionar critérios genéticos (dinâmica das massas de ar) com a variação dos elementos climáticos para particularizar cada região climática do país. De forma ainda mais audaciosa, a definição dos domínios morfoclimáticos no Brasil (AB'SABER, 2003) também exibe critérios semelhantes na delimitação das unidades ao relacionar a gênese e dinâmica de interação entre os componentes e processos climáticos, geomorfológicos, geológicos, pedogenéticos e biogeográficos.

Drew (1989) também propõe esboço semelhante de abordagem do objeto de estudo ao identificar para os diferentes biomas as transferências e acúmulo de matéria e energia, possibilitando compreender onde os sistemas são mais ou menos sensíveis às perturbações ambientais, tratando-se, portanto, de uma classificação com base na susceptibilidade dos sistemas aos diferentes tipos de impactos ambientais e antrópicos.

Essas relações, de acordo com Bertrand (1972), estabelecem-se em hierarquia, ou seja, desde espaços reduzidos ao nível dos biótopos florestais, até espaços da dimensão dos biomas (espaços zonais). Para Monteiro (1999), as mudanças na dimensão do objeto no interior de uma cadeia de hierarquia são acompanhadas de mudanças qualitativas e quantitativas, ou seja, além da dimensão do objeto modificam-se, também, a natureza e as características dos fatores que influenciam os elementos climáticos e, portanto, os procedimentos utilizados para compreensão do objeto de estudo. A interação entre os componentes do sistema e as relações processuais derivada dessas interações se organiza em escalas, semelhante à cadeia ecológica, ou seja, além das relações no plano horizontal de cada unidade na mesma escala, há relações (verticais) entre as diferentes unidades escalares.

A transposição desse conceito de cadeia de relações, traduzida para a climatologia, conforme discussão de Jardim (2015), pode ser concebida verificando a ação de uma massa de ar de amplitude regional ou mesoescalar, abrangendo todo o sudeste brasileiro, e as diferentes

repercussões locais em microescala mostrada pela variação diferenciada dos atributos climáticos. A atuação de um sistema frontal pode repercutir localmente na forma de chuva concentrada, chuva leve ou apenas pelo grau diferenciado de nebulosidade.

Os desdobramentos do conceito de sistema em ecossistema e geossistemas que, em princípio, constituem-se em unidades, aplicado à compreensão da organização dos componentes naturais e antrópicos, identifica no clima o "*input*" energético do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1999). Na verdade, como aponta Monteiro (1999), o clima participa de todo o processo, desde a entrada energética (insumo) no sistema até os desdobramentos em termos de impactos. A participação em termos de entrada e saída de radiação solar e térmica, à escala da superfície terrestre transfere para o volume de ar sobrejacente parte de suas características (áreas fonte), ou seja, uma massa de ar tropical formada no interior do continente em latitude tropical tenderá a ser quente e seca, transportando essas características na medida em que se desloca (e se modificando, também, em contato com massas de ar em outras regiões). É o caso da massa de ar fria avançando de sul para norte no Brasil, repercutindo em determinadas localidades das Serras Gaúchas com precipitação de neve e, posteriormente, com frio leve ou moderado no centro-sul do Estado de Minas Gerais.

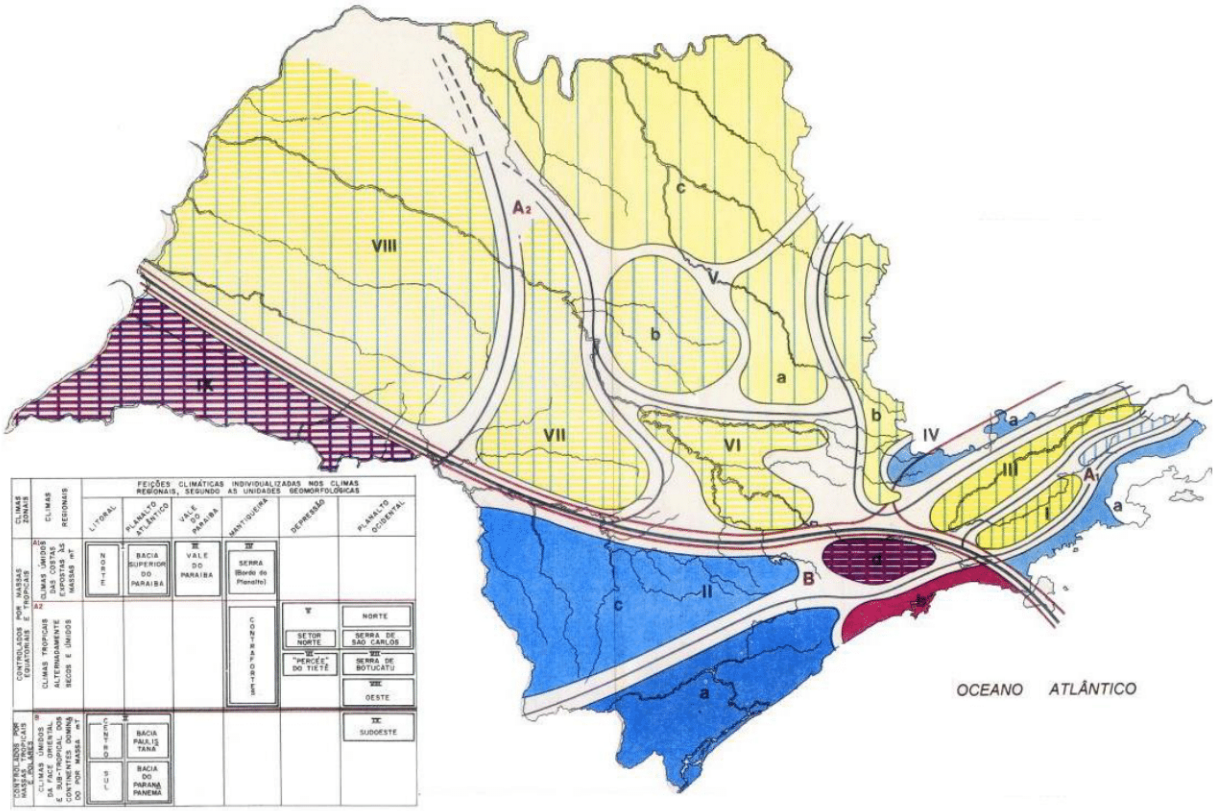
As modificações experimentadas pelos fatores e elementos climáticos integrados à diversidade de espaços terrestres assumem características próprias em cada momento (tempo cronológico), adicionando componentes dinâmicos na organização das unidades.

O resgate dessa discussão é particularmente importante para a identificação das unidades climáticas, premissa utilizada por Jardim (2007; 2010) na delimitação das unidades de clima na bacia hidrográfica do Rio Aricanduva, no município de São Paulo. As unidades climáticas (assim como qualquer unidade espacial) representam sistemas, uma vez que se constituem em produto de interações entre componentes ou fatores (atmosfera, relevo, vegetação, etc.). A relativa homogeneidade espacial dos objetos, que é o critério básico para delimitação das unidades, conforme discussão de Bertrand (1972) e Monteiro (1990; 2000), aplicada à identificação de unidades de clima, vegetação, relevo, etc., constitui-se no aspecto "visível" ou mais evidente das unidades que, num primeiro momento, não mostra o resultado da atuação de mecanismos e processos, cuja elucidação somente aparece na medida em que o pesquisador avança na direção de compreender de forma profunda o seu objeto de estudo.

Por último, outro aspecto importante associado à delimitação das unidades climático-ambientais refere-se à necessidade de ordenamento espacial dos componentes do meio, que facilita a realização de diagnósticos ambientais visando o planejamento territorial e aproveitamento sustentável dos recursos naturais.

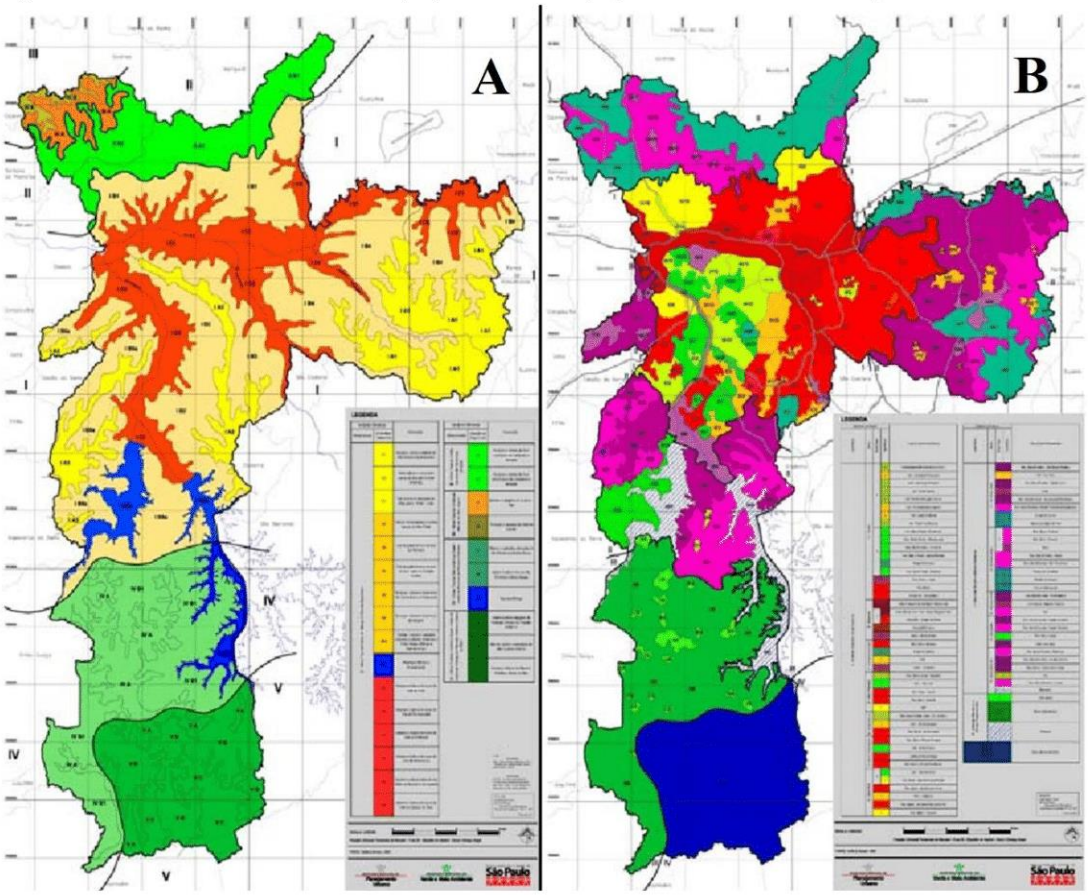
Diversos estudos na área da climatologia geográfica brasileira propuseram a delimitação de unidades climáticas em diferentes escalas espaciais de abordagem, podendo destacar os trabalhos desenvolvidos por: Monteiro (1973) para o Estado de São Paulo, que integra diferentes escalas (zonal e regional) e espaços de transição climática (Figura 4); Tarifa e Armani (2001a; 2001b) que discutem sobre esse tema na definição das unidades climáticas do município de São Paulo ao identificarem unidades climáticas naturais e urbanas nas escalas mesoclimática e topoclimática (Figura 5); Tarifa (2002) também aplicou procedimento semelhante no mapeamento das unidades climáticas do maciço da Juréia no litoral sul do Estado de São Paulo, integrando diferentes escalas, componentes da paisagem e de influência das massas de ar; Jardim (2007) para a bacia hidrográfica do Rio Aricanduva, no município de São Paulo, ao destacar os aspectos dinâmicos de circulação local e topoclimática (Figura 6). Além dos trabalhos citados anteriormente, todos aplicados a espaços pertencentes aos limites políticos-administrativo do Estado de São Paulo, deve-se destacar a proposta realizada por Assis (2010), cujo trabalho abordou a compartimentação dos climas "naturais" e urbanos (Figura 7) do município de Belo Horizonte a partir das escalas local, mesoclimática e topoclimática.

Figura 4 - Tentativa de classificação das unidades climáticas do Estado de São Paulo.



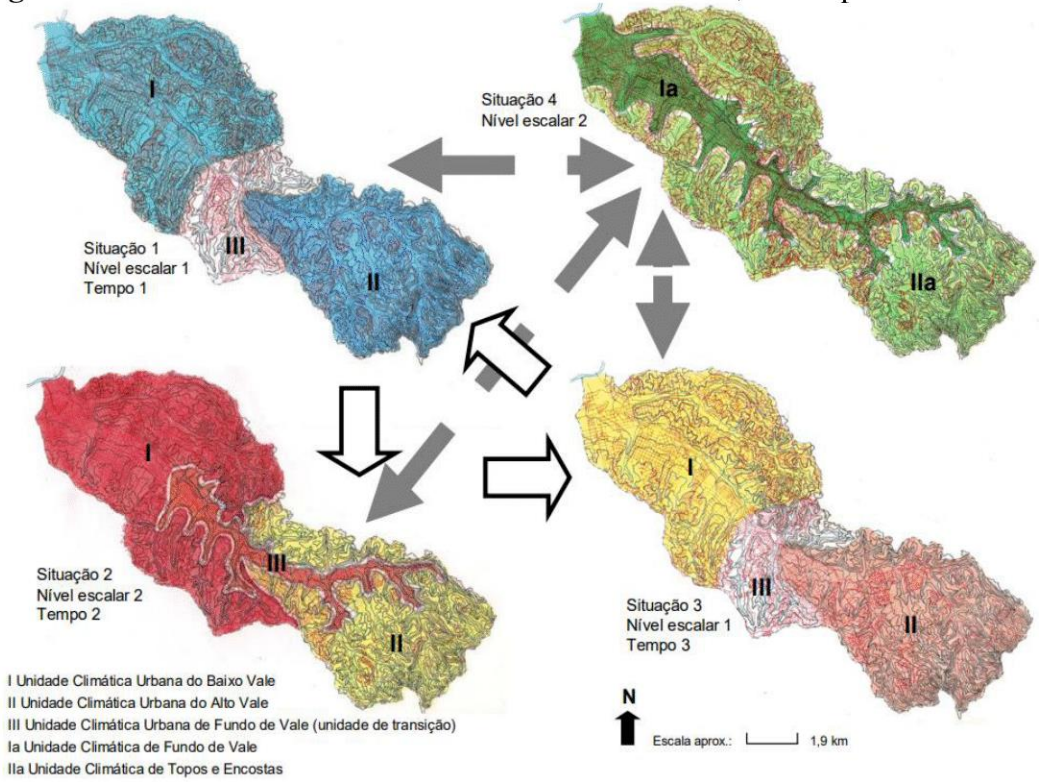
Fonte: MONTEIRO, 1973.

Figura 5 - Unidades climáticas (A) naturais e (B) urbanas do município de São Paulo.



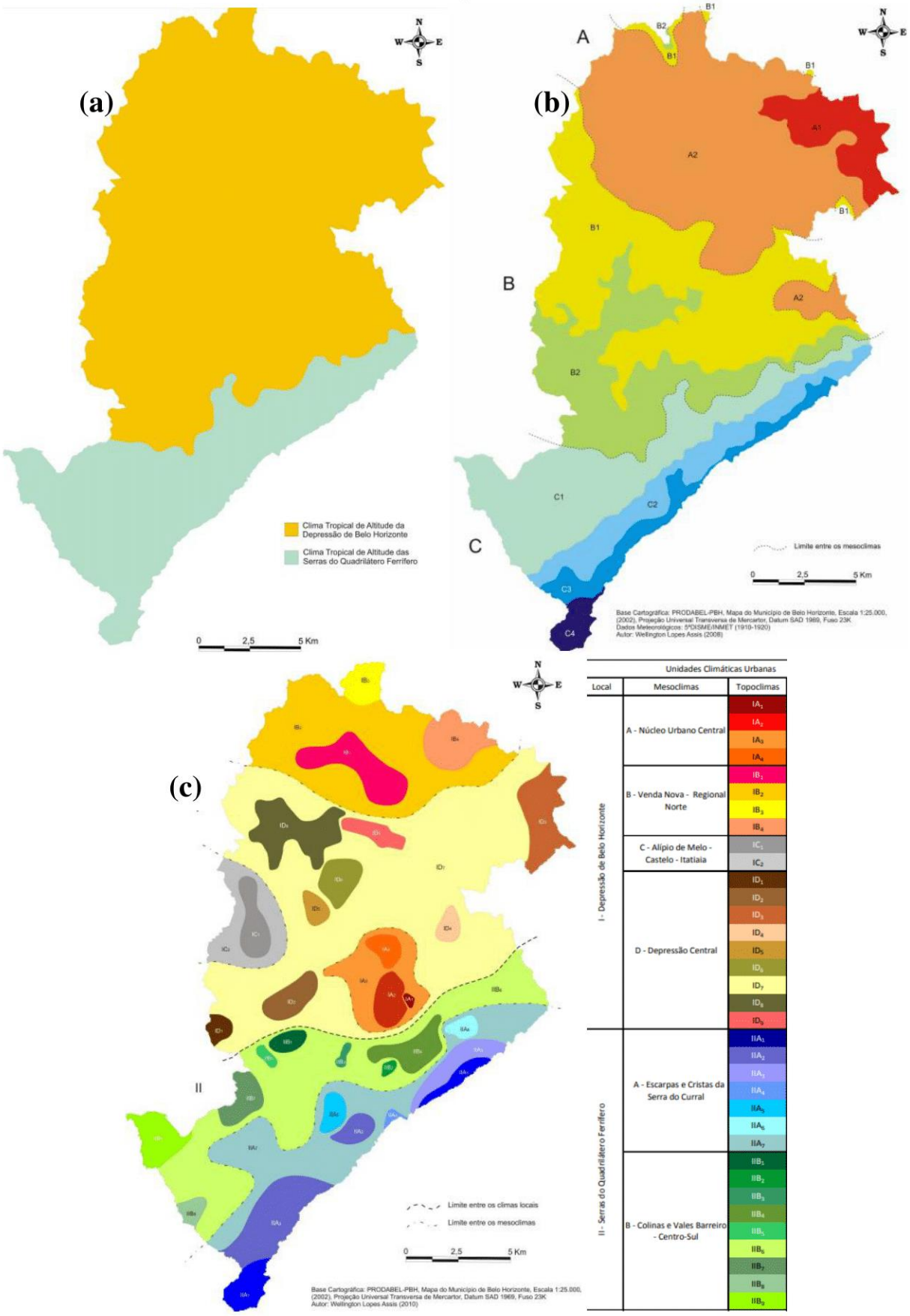
Fonte: TARIFA; ARMANI, 2001a; 2001b.

Figura 6 - Unidades climáticas da bacia do rio Aricanduva, município de São Paulo.



Fonte: JARDIM, 2007.

Figura 7 – Unidades climáticas do município de Belo Horizonte: “naturais”, nas escalas (a) local, (b) mesoclimática e topoclimática, e (c) urbanas.



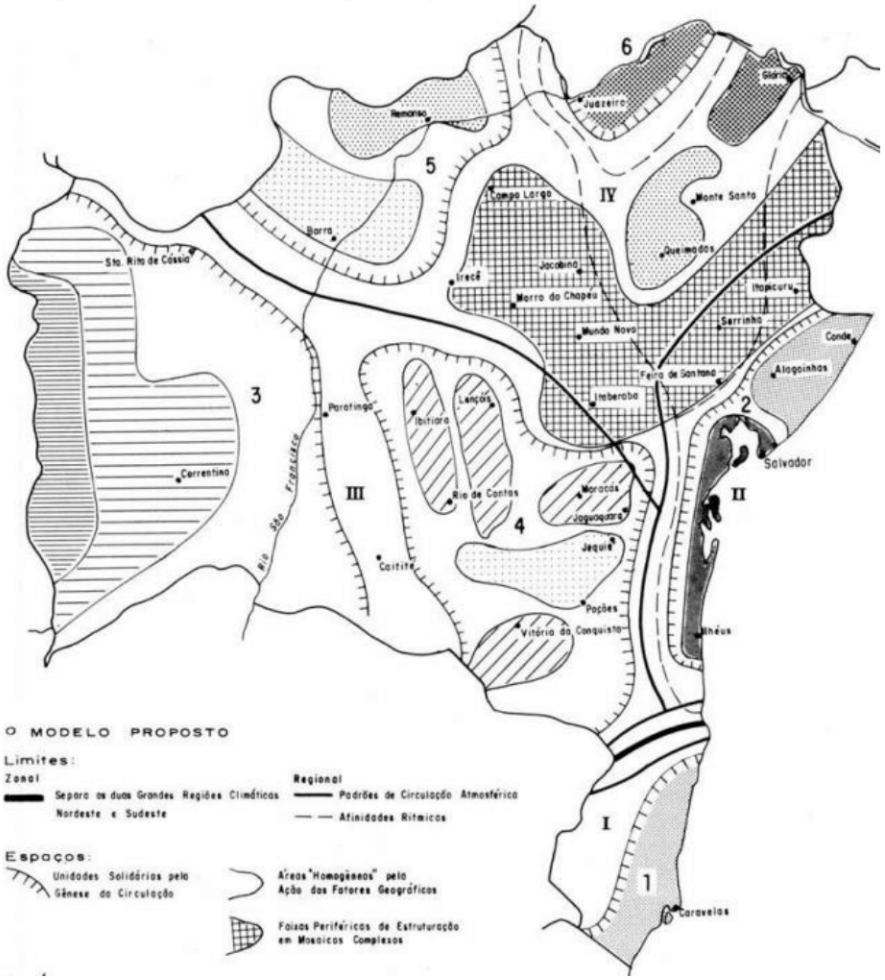
Fonte: adaptado de ASSIS, 2010.

Os trabalhos mencionados acima e também realizados por outros autores propuseram diferentes métodos de modelos de organização para regionalização dos atributos do clima e/ou sistematização de unidades climáticas. Muitos destes estudos apontam a dificuldade ou impossibilidade de realizar levantamentos sistemáticos detalhados em campo e/ou relatam a baixa densidade de cobertura têmporo-espacial de estações meteorológicas e/ou pluviométricas.

Para suprir essas lacunas existem diversas técnicas estatísticas que possibilitam tratar os conjuntos de dados climáticos com o objetivo resumir e generalizar suas características gerais. Dentre elas, destacam-se as análises multivariadas, como a Análise Fatorial (AF) em Componentes Principais (CP's) e a Análise de Agrupamento (AA), que em conjunto possibilitam sintetizar em grupos homogêneos as estações com condições climáticas análogas.

Dentre esses trabalhos destaca-se a proposta de organização climática do Estado da Bahia (AOUAD, 1983) e embasada em técnicas de AF em CP's, com o objetivo de reduzir as 33 variáveis (térmicas, pluviais, hígricas e de balanço hídrico) de 127 localidades em um número menor de variáveis que pudessem ser explicadas conforme suas correlações (Figura 8).

Figura 8 - Modelo de organização climática do Estado da Bahia.

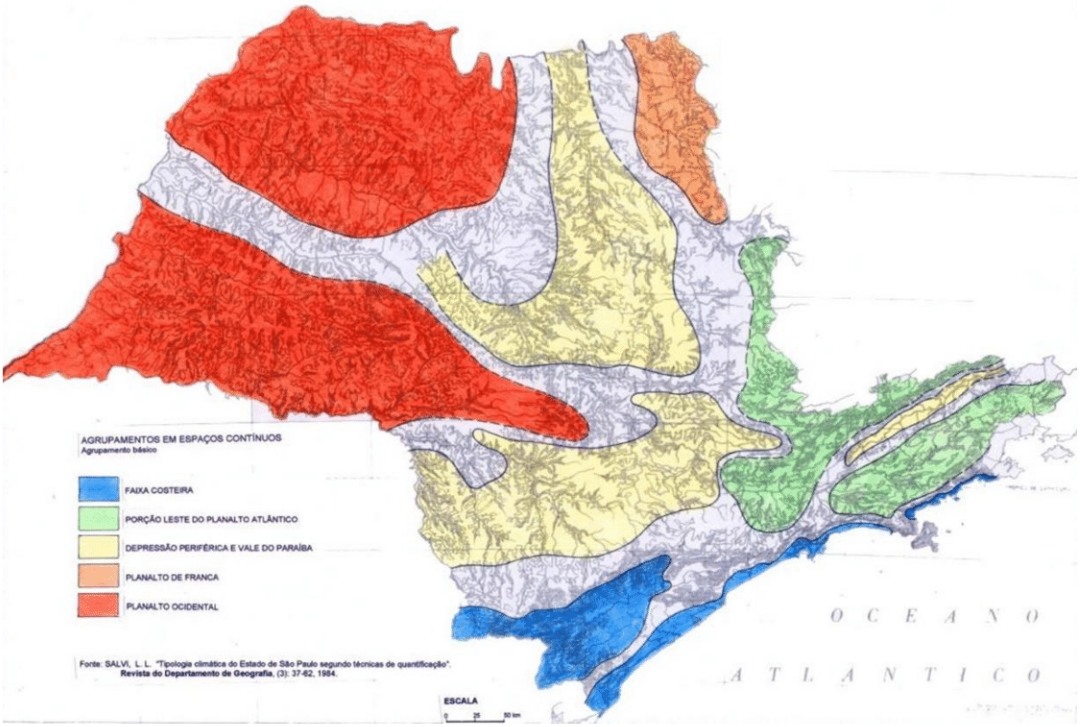


Fonte: AOUAD, 1983.

Foram definidos 6 fatores que totalizaram 89,9% da variância observada nos dados: o 1º fator (37,8% da variância) como a caracterização térmica e da evapotranspiração potencial; o 2º fator (25,2% da variância) referente as condições hídricas anuais e de inverno; o 3º fator (16,8% da variância) ligado às características hídricas de verão; o 4º fator (5% da variância) como a amplitude térmica; e o 5º e 6º fatores (2,8% e 2,4% da variância) não possibilitaram uma clara definição dos atributos ligados às variáveis explicadas a partir das correlações.

Já Salvi (1984) utilizou dados climáticos de precipitação e temperatura do Estado de São Paulo ao longo de 10 anos para 44 estações meteorológicas, os quais foram divididos em 40 variáveis que serviram para aplicação de técnicas de AF em CP's (Figura 9). Os cinco primeiros fatores (93,6% da variância observada) possibilitaram vinculá-los às características climáticas regionais, sendo o 1º fator (47,5% da variância) referente ao resfriamento, o 2º fator (26,9% da variância) a umidade, o 3º fator (9,2% da variância) a pluviosidade, o 4º fator (6% da variância) ao aquecimento e o 5º fator (4% da variância) a intensidade do período seco.

Figura 9 - Tipologias climáticas segundo análise multivariada para o Estado de São Paulo.

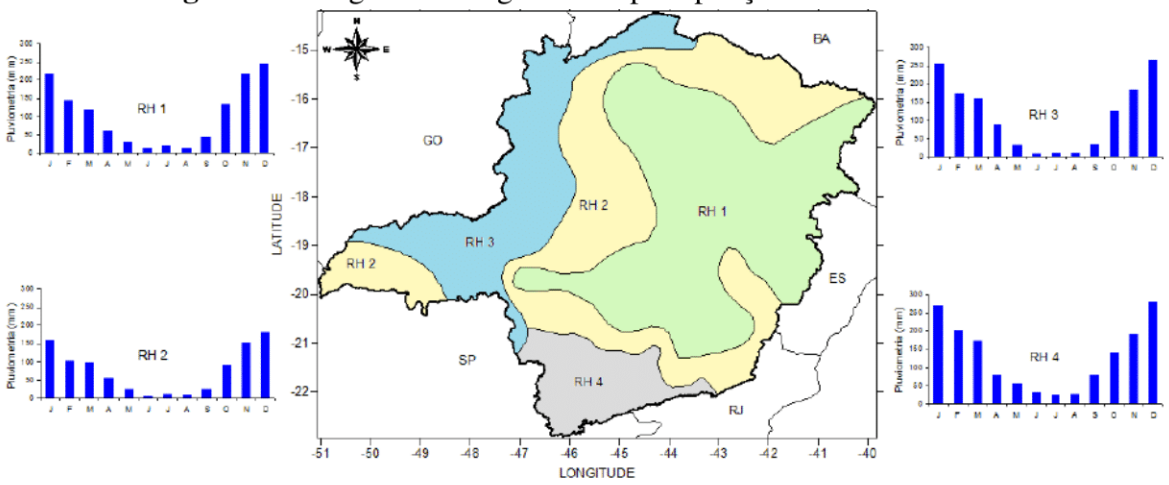


Fonte: SALVI, 1984.

No trabalho de Souza et al. (2011) definiu-se padrões têmporo-espaciais de pluviosidade para o Estado de Minas Gerais, ao utilizarem técnicas de AF e CP's em dados pluviométricos mensais para definição de quatro Regiões Homogêneas (RH), conforme Figura 10. Os autores identificaram que as três primeiras CP's descreveram 80,4% da variância total observada: o 1º fator (34,3% da variância) está correlacionado com as chuvas de dezembro a abril na porção sul do estado; o 2º fator (26,6% da variância) com as chuvas de maio a setembro no setor

noroeste e sudoeste; e o 3º fator (19,5% da variância) representaram os meses de outubro e novembro, associados a sistemas de mesoescala e microescala.

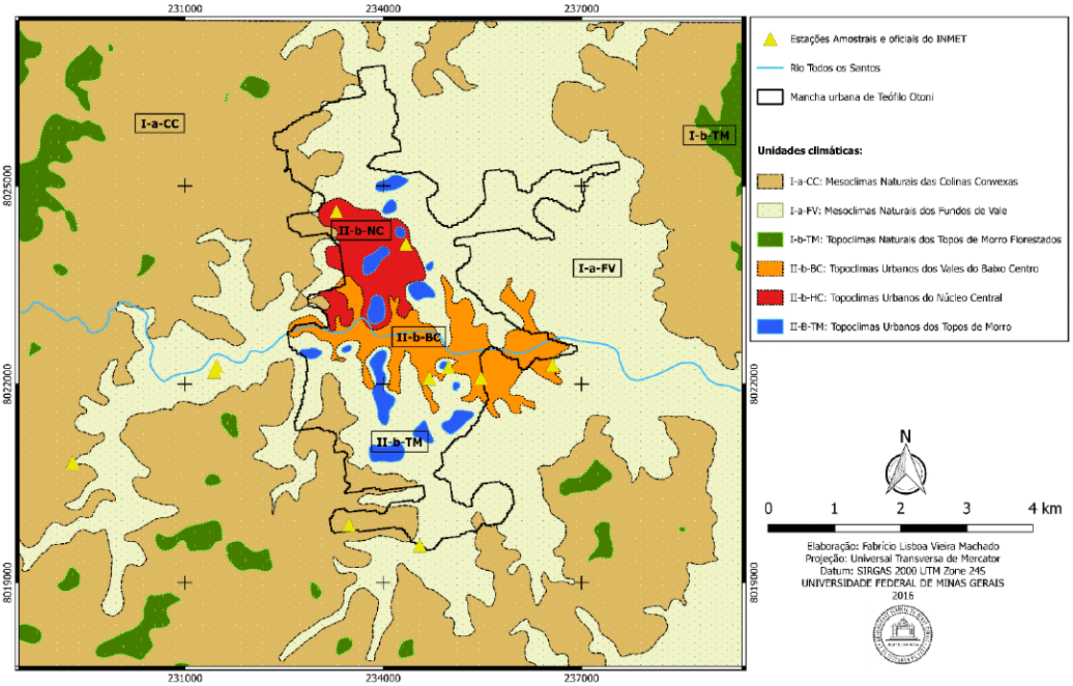
Figura 10 - Regiões homogêneas de precipitação em Minas Gerais.



Fonte: SOUZA et al.,2011.

Machado (2016) propôs outro tipo de abordagem estatística para sistematização e diferenciação dos espaços climáticos, ao aplicar o modelo *fuzzy cluster* nos dados de temperatura e umidade aferidos por nove estações amostrais em diferentes pontos do município de Teófilo Otoni-MG. Os resultados de agrupamento e a análise dos controles de superfície (uso e ocupação do solo, topografia, etc) possibilitaram definir duas tipologias (Figura 11), sendo a primeira natural (dois mesosclimas e um topoclima) e outra urbana (três topoclimas).

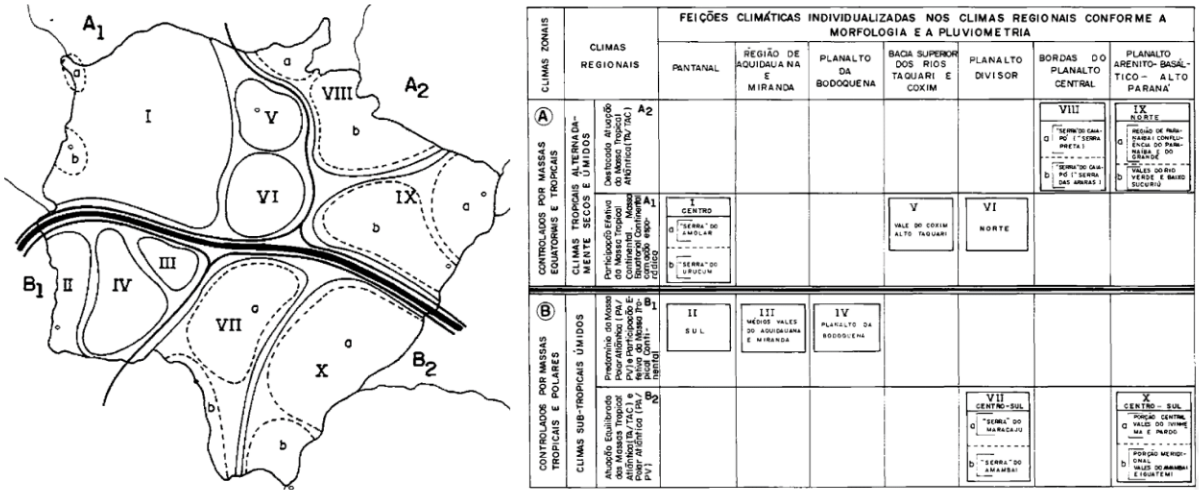
Figura 11 - Unidades climáticas naturais e urbanas do município de Teófilo Otoni.



Fonte: MACHADO, 2016.

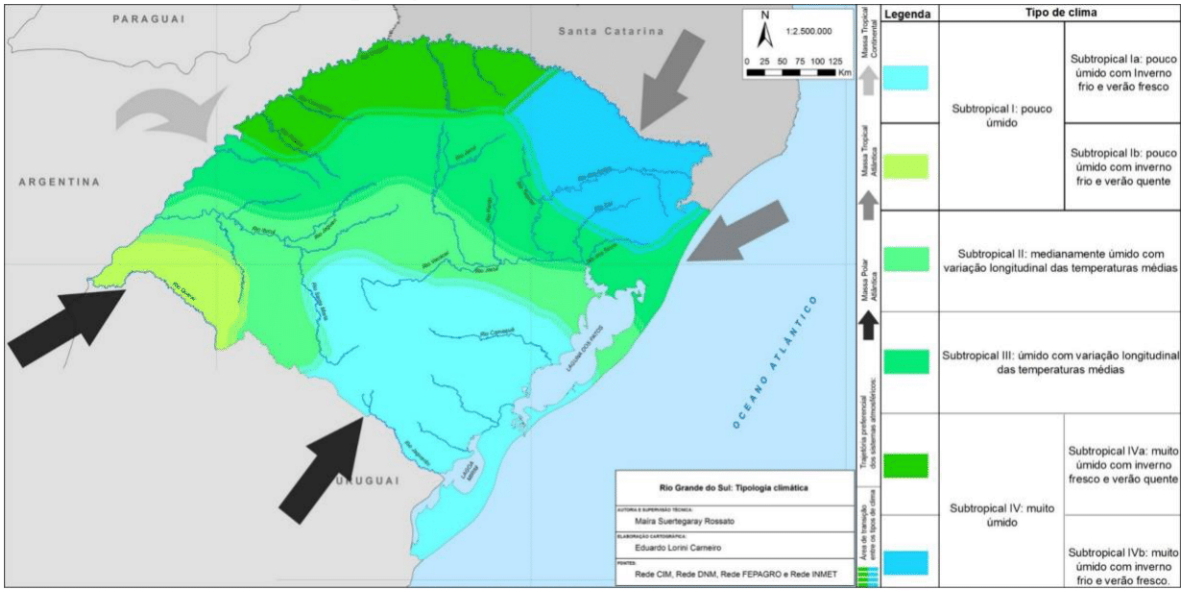
Além das propostas de compartimentação espacial que empregam somente a análise estatística dos atributos climáticos, há também trabalhos que incorporam os aspectos genéticos do clima em suas representações. Esses trabalhos analisam o clima pelo viés estatístico da variação espacial de seus elementos em conjunto com os controles dinâmicos de abrangência dos sistemas atmosféricos, com destaque para os estudos: já citados de Monteiro (1973) para o Estado de São Paulo (Figura 4) e Aouad (1983) para o Estado da Bahia (Figura 8); de Zavattini (2009) para o Estado do Mato Grosso do Sul (Figura 12), que abordou a precipitação de 66 localidades entre os anos de 1966 e 1985 e aplicou análise de agrupamento para definição de espaços homogêneos; e de Rossato (2011) para o Estado do Rio Grande do Sul (Figura 13), que utilizou dados de temperatura, precipitação, umidade, pressão atmosférica, dias de geada e insolação de 51 estações meteorológicas, entre 1931 e 2007, para aplicação de técnica de CP's.

Figura 12 - Classificação climática de base genética para o Estado do Mato Grosso do Sul.



Fonte: ZAVATTINI, 2009.

Figura 13 – Tipologias climáticas do Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: adaptado de ROSSATO, 2011.

2.3 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

A Embrapa (2011) constatou que as principais variações ocorridas na produtividade da soja no Brasil desde a década de 1970 estão relacionadas com situações climáticas adversas, principalmente aquelas relacionadas a ocasiões de seca. Nesses casos, o principal fato que se observa é a ocorrência de deficiência hídrica tanto no solo como também nas plantas.

Santos (2002) aponta que ao longo do desenvolvimento fenológico da soja, a falta de água em momentos críticos pode influenciar de modo negativo a produtividade agrícola por deficiência hídrica, principalmente em três estágios fenológicos: na germinação, na floração e no enchimento dos grãos. O autor conclui que os impactos negativos ocasionados pela deficiência hídrica ocorrem no Brasil, geralmente, entre os meses de dezembro e março (dependendo do início do cultivo e/ou tipo de semente), correspondendo, exatamente, aos períodos de desenvolvimento mais críticos.

Dentre as principais causalidades que estão ligadas à falta de chuva destaca-se as ocorrências de veranicos. De acordo com Agritempo (2018), o veranico agrícola é um momento de "estiagem durante a estação chuvosa, caracterizado por dias de calor intenso e insolação, com duração de mínima de quatro dias". Para Hernandez et al. (2003, p. 5), um dia seco ocorre quando "a precipitação pluviométrica é menor ou igual à evapotranspiração em base diária", ou seja, é quando a retirada de água (evapotranspiração) é maior do que a entrada (pluviosidade). Ferreira (2005) e Potafos (1997) ponderam que os veranicos prolongados constituem momentos de estiagem que podem gerar deficiência hídrica no solo, que, consequentemente, poderiam comprometer a produtividade das culturas agrícolas de acordo com as características de intensidade e duração do fenômeno.

Durante a fase fenológica de emergência a soja não pode ser submetida a um longo período de deficiência hídrica no solo, a qual pode resultar em *stress* hídrico e gerar impactos negativo na quantidade e qualidade dos grãos, devido ao comprometimento do metabolismo geral da planta que poderá resultar na redução de sua área foliar.

Dentre as técnicas existentes para estimar a deficiência de água no solo, o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) é mais utilizada e possui duas variações: o BHC Normal, utilizado para calcular os dados médios de uma série histórica, como dos dados advindos das Normais Climatológicas (RAMOS et al., 2009; INMET, 2018b); e o BHC Sequencial (utilizado nas escalas mensal, decendial, semanal e diária) (PEREIRA et al., 2018).

O BHC permite ser utilizado em conjunto com dados ou informações provenientes de outras variáveis de ordem climática e/ou ambiental, ao integrar, por exemplo, informações que visem analisar a influência do ritmo climático no desenvolvimento de atividades vinculadas à

prática agrícola, tanto na qualidade da produção como também na quantidade produzida, conforme foi aplicado por Silva (2013).

A pluviosidade é o fator mais importante para diversas culturas agrícolas desenvolvidas nas regiões tropicais, pois tanto o quantitativo total precipitado durante o ciclo de crescimento das plantas como também a sua distribuição temporal (ritmo pluvial) acabam sendo variáveis que impactam positivamente ou negativamente nos totais colhidos e na produtividade de cada safra. Porém, a relação existente entre a precipitação e a planta não se limita somente à disponibilidade hídrica no solo, sendo crucial compreender o papel de transferência da água do solo para a atmosfera por meio da evapotranspiração. Agritempo (2018) define a evapotranspiração como a "perda de água, em fase gasosa, pelo sistema solo-planta, que envolve a quantidade de transferida da superfície para a atmosfera, por evaporação das superfícies (solo e plantas) e por transpiração das plantas", constituindo um fator determinante para o BHC.

Desse modo, o BHC é calculado através dos *inputs* (entrada de água no solo por meio da infiltração da água da chuva) e *outputs* (saída de água do solo por meio da evapotranspiração), que constituem as partes importantes do ciclo hidrológico. Oliveira (2010) expõe que essa técnica permite conhecer como o regime climático interfere na disponibilidade de água para a planta (excedente ou déficit), possibilitando, desse modo, uma melhor adequação do manejo e planejamento do calendário agrícola. Além disso, Castro et al. (2010) ponderam que a principal função do Balanço Hídrico para agricultura é a possibilidade de definir metas para as tomadas de decisões, como por exemplo: onde plantar; qual o melhor período de semeadura e colheita; qual a variedade de semente é mais adaptada às características do clima local; qual o ciclo da cultura (precoce, médio e tardio) melhor se adapta à quantidade e à duração do período chuvoso, etc.

A metodologia mais utilizada para o cálculo do BHC foi proposta inicialmente por Thornthwaite (1948) e posteriormente aprimorada por Thornthwaite e Mather (1955), a qual possibilita acompanhar a estimativa do quantitativo de disponibilidade ou déficit de água no solo na escala mensal. Para compreender essa dinâmica da água subsuperficial calculam-se diversos parâmetros relacionados à entrada de água no sistema (precipitação) e a sua retirada (de modo indireto, através da temperatura média da atmosfera). De acordo com Farias et al. (2001), os resultados obtidos por meio do BHC permitem analisar o comportamento da água no solo através das seguintes variáveis:

- Evapotranspiração Potencial (ET_p), é a demanda por água na atmosfera;

- Evapotranspiração Real (ET_r), é a quantidade de água, que nas condições reais, evapora do solo e transpira das plantas;
- Deficiência Hídrica (DEF), é a diferença entre a evapotranspiração potencial e a real, no qual o resultado é o baixo nível de água no solo;
- Excedente Hídrico (EXC), é a diferença entre a Precipitação e a ET_p, acontecendo a partir do momento que o solo atinge a sua máxima capacidade de retenção de água;
- Armazenamento de Água no Solo (ARM), que é a variação da quantidade de água disponível no solo, estando ligada à entrada (Reposição) e à saída (Retirada) de água;
- Capacidade de Água Disponível (CAD), é a de armazenagem máxima de água no solo.

Rolim et al. (1998) adaptaram e aprimoraram a proposta de Thornthwaite e Mather (1955) em relação a alterações dos parâmetros do cálculo da Evapotranspiração Potencial, além de operacionalizar numa planilha do software Microsoft Excel© o cálculo das variáveis do BHC para diferentes escalas temporais (mensal, decendial, semanal ou diária).

2.4 CARTAS SINÓTICAS E SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL

As perturbações ocasionadas pelo aquecimento irregular da superfície e, consequentemente, da atmosfera, proporcionam a formação de gradientes térmicos e de pressão entre as regiões mais quentes e frias do planeta (MENDONÇA; DANNI-OLIVERA, 2009). Os mesmos autores continuam a explicação ao afirmarem que a constante tentativa do sistema climático em buscar o equilíbrio energético (isostasia) proporciona o deslocamento do ar entre as áreas de alta pressão em direção as de baixa pressão, através de um complexo jogo de forças proporcionada pela constante atuação dos sistemas atmosféricos que possuem características térmicas e hígricas distintas.

Pinto e Aguiar Netto (2008) afirmam que o entendimento da dinâmica de atuação dos sistemas atmosféricos em curto espaço de tempo é o foco principal dos estudos meteorológicos, os quais são apoiados por informações em superfície (estações meteorológicas), em altitude (radio sondagens) e através de sensores remotos orbitais que visam constantemente aferir as condições físicas, químicas e dinâmicas do tempo atmosférico.

A espacialização das características do tempo é feita através de algoritmos inseridos em supercomputadores (modelagem matemática das condições atmosféricas) como também pela interpretação de meteorologistas a partir de dados aferidos por equipamentos meteorológicos. Os produtos gerados por esses métodos visam analisar o momento atual da atmosfera e a previsão futura de curto prazo, realizada por meio da análise de cartas sinóticas para diferentes

estratos da atmosfera. Essas cartas sinóticas proporcionam um melhor entendimento das condições da circulação geral em superfície e altitude, possibilitando apontar onde e quando está ocorrendo a atuação de diferentes sistemas atmosféricos.

A Diretoria de Hidrografia da Marinha (2018) produz diariamente cartas sinóticas de superfície em dois horários sinóticos (00h e 12h UTC) com enforque na situação atmosférica próxima ao litoral brasileiro. Já o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgãos governamentais destinados a previsão de tempo, produzem cartas sinóticas de superfície e altitude por meio de modelagem computacional.

Um dos principais insumos utilizados pelos modelos meteorológicos e pelos meteorologistas são os dados provenientes do sensoriamento remoto orbital. Estes satélites são utilizados em diversas finalidades, como por exemplo, para compreender a atuação dos sistemas atmosféricos e fazer previsões do tempo.

Existem diversos modelos de satélites meteorológicos orbitais, dentre eles, a rede de satélites *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES). Esta rede de satélites é operada pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), que por sua vez é controlada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Desde 1975, já foram lançados 16 satélites meteorológicos geoestacionários com o objetivo de monitorar, a princípio, a circulação atmosférica na América do Norte e, posteriormente, todo o globo.

O GOES 8 manteve sua operação entre os anos de 1994 e 2004. Seus sensores foram posicionados no nadir do meridiano 75º Oeste, com ângulo de visada preferencial da margem oeste do continente da América do Sul. Possuía sensores nas faixas do Visível (0,55-0,75 um), Infravermelho Próximo, (3,80-4,00 µm), Vapor de Água (6,50-7,00 µm) e dois na faixa do Infravermelho Termal (10,2-11,2 µm e 11,5-12,5 µm), com resolução espacial de 1km no visível e 4 km nas bandas da faixa do termal (NOAA, 2017).

Já o GOES 10, lançado em abril de 1997 foi um dispositivo de 5 canais espectrais sendo um Visível (0,55-0,75 µm), três canais Infravermelhos (3,8-4,0 µm, 10,2-11,2 µm, 11,5-12,5 µm) e o canal de Vapor d'Água (6,5-7,0 µm) (NOAA, op. cit.). Foi utilizado na obtenção de dados e monitoramento da circulação atmosférica em sua estrutura vertical, aferindo diversos parâmetros como temperatura no topo das nuvens, distribuição de ozônio, entre outros. A resolução espacial do satélite varia de acordo com o sensor utilizado, sendo que no canal Visível a resolução é de 1 km. Nos canais Infravermelhos, a resolução é de 4 km. E no canal de Vapor d'água, a resolução é de 8 km. Estas resoluções possibilitaram observar o deslocamento das massas de ar em diferentes latitudes e longitudes. Sua órbita estava localizada a 35,800 km da

superfície, posicionado na longitude de 135° Oeste. Após 2006 o satélite foi reposicionado para a longitude de 60° Oeste com o objetivo de monitorar o deslocamento da circulação atmosférica na América do Sul. Em dezembro de 2009, o GOES 10 foi desativado por falta de combustível após 12 anos de funcionamento, sendo substituído pelo GOES 12 (NOAA, 2017).

O GOES 12 foi lançado em 2001 e foi inicialmente projetado para monitorar a longitude 105ºW, mas em 2003 foi realocado para longitude 75ºW em substituição ao GOES 8. Em maio de 2010 passou a ser o principal satélite de monitoramento da atmosfera na América do Sul, ao estar posicionado na órbita de 60°W, onde atuou até agosto de 2013 (NOAA, op. cit.).

Um acordo de cooperação entre o Brasil e os Estados Unidos possibilitou que a NASA disponibilizasse ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) os dados e materiais provenientes de fontes de Sensoriamento Remoto obtidos pelos satélites desde o GOES 8, e posteriormente, os GOES 10, 12, 13 e, atualmente, o 16. O Brasil, por meio do CPTEC/INPE, realiza a disseminação, gravação e geração dos produtos oriundos dos satélites GOES, distribuindo-os gratuitamente (DSA/CPTEC/INPE, 2018).

2.5 A SOJA

A planta de soja (*Glycine max*) é proveniente do nordeste da China, mais especificamente da região da Manchúria, de latitudes intermediárias entre 35º e 45º norte. O desenvolvimento do seu cultivo é relatado a pelo menos seis mil anos, sendo utilizada para fins de alimentação das populações que viviam nessa localidade. A rápida e intensa expansão do seu cultivo para outras regiões do sudeste asiático proporcionou que no século XVII ela fosse levada pelos navegadores europeus rumo à França, Grã-Bretanha e, posteriormente, para os Estados Unidos da América e em outras regiões do globo (GOMES, 1986).

Para que ocorra uma boa produtividade agrícola para a soja, em conjunto com um menor custo de produção, são necessárias condições ambientais, técnicas e tecnológicas para que a planta consiga se desenvolver e expressar ao máximo seu potencial genético. Para isso acontecer, Câmara (2009, p. 175) propõe algumas sugestões como:

> a) conhecer a planta (fenologia, fisiologia, cultivar) e o ambiente (histórico de clima, solo, pragas e doenças); b) trabalhar sempre com boa semente e cultivar adaptada à região de cultivo; c) aplicar a estratégia de manejo mais adequada técnica e economicamente; d) procurar a orientação técnica com profissionais idôneos.

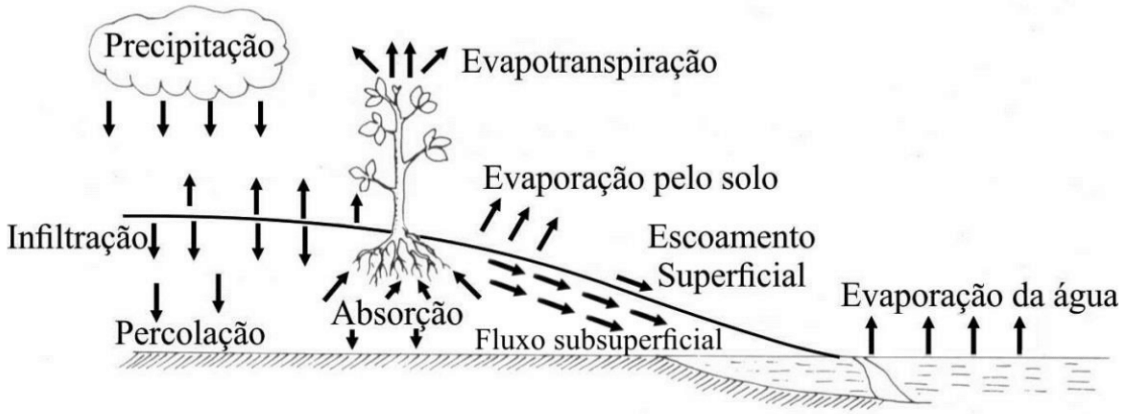
Os próximos subitens abordarão detalhadamente as principais características morfológicas e fisiológicas da planta de soja. Também será descrito como a soja está inserida no quadro agrário mundial, além de abordar a evolução histórica do cultivo, sua

contextualização na dinâmica do sistema produtivo e o papel que vem desempenhando na economia nacional.

2.5.1 A fisiologia da soja

Toniolo e Mosca (1991) explicam que o ciclo da água pode ser definido como sendo a capacidade de transformação dos estados físicos e o transporte e armazenamento deste líquido entre a atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera (Figura 14).

Figura 14 - Comportamento da água no sistema atmosfera-solo-planta.



Fonte: adaptado de TONIOLO; MOSCA, 1991.

Mesquita (1993) aponta que o ciclo hidrológico para a agricultura é primordial, pois é a partir da troca de elementos entre o sistema atmosfera-solo-planta que os cultivares obtêm toda a oferta hídrica que necessitam. Portanto, é através do comportamento da água percolada e armazenada no solo que qualquer espécie vegetal consegue se desenvolver plenamente.

De acordo com Embrapa (2011), a soja possui 90% do seu peso constituído por água, sendo que praticamente todos os processos bioquímicos e fisiológicos necessitam desse elemento para atuar. É a partir da água que os gases, minerais e outros elementos são dissolvidos, entrando e se movimentando pela planta.

Paludzyszyn Filho et al. (1993) expõem que durante as diferentes fases de crescimento fenológico da soja, o excesso ou a escassez de umidade no solo pode prejudicar o desenvolvimento durante seu ciclo. Os mesmos autores complementam que devido ao seu prolongado tempo de florescimento, a soja possibilita maior resistência a curtos períodos de estiagem (em torno de cinco dias, sem causar prejuízos para a planta), quando comparado com outras espécies cultivadas.

A duração dos ciclos de desenvolvimento da soja varia devido a diversos fatores, como por exemplo, as condições ambientais (disponibilidade de nutrientes, tipos de solo, oferta

hídrica, etc.). Outro fator preponderante é o tipo da variedade dos cultivares utilizados, que pode ser classificado em precoce, intermediário e tardio, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempo médio de duração das fases fenológicas da soja.

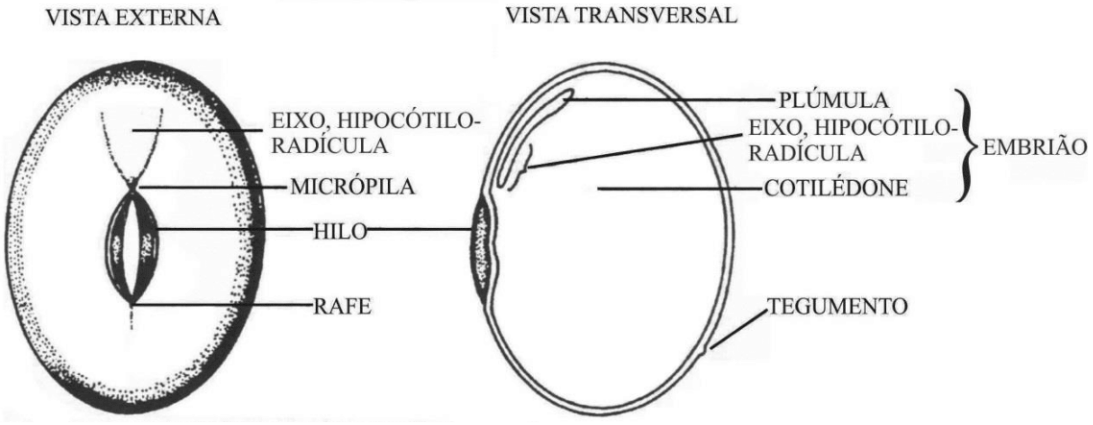
Estágios de Desenvolvimento Fenológico	**Duração média de acordo com a variedade (dias)**		
	Precoce	**Médio**	**Tardio**
Estabelecimento	8	10	> 10
Desenvolvimento Vegetativo	38	40	> 40
Floração	28	30	> 30
Frutificação	33	35	> 35
Maturação	13	15	> 15
Ciclo (dias)	**Até 120**	**130**	**> 130**

Fonte: COSTA, 1996.

Costa (1996) explicita que o desenvolvimento da planta de soja é caracterizado por dois estágios de crescimento bem definidos, sendo: o estágio vegetativo com seis subdivisões (VE, VC, V_1, V_2, V_3 e V_n); e o estágio reprodutivo com oito subdivisões (R_1, R_2, R_3, ..., R_6, R_7 e R_8).

Mattos (1987) diz que a morfologia da **semente**[1] da soja consiste num formato quase esférico (Figura 15). Seu tamanho pode alterar de acordo com as características ambientais e o tipo de variedade cultivada. O **hilo** é o componente da semente que mais se destaca, modificando de acordo com o cultivar e os fatores ambientais, sendo classificado em 12 cores diferentes que variam em tonalidades.

Figura 15 - Vista externa e corte transversal de uma semente típica de soja.



Fonte: adaptado de COSTA, 1996.

Para Costa (op. cit.), os estágios vegetativos compreendem a fase de formação de acordo com o desenvolvimento primário da planta de soja em suas diferentes etapas. Cada etapa do estágio vegetativo é a sucessão do crescimento e formação, desde a germinação até a fase anterior ao aparecimento das primeiras flores que resultarão nas sementes (Tabela 2).

[1] As palavras destacadas em **negrito** podem ter seu significado consultado no Glossário, localizado na página 275.

Tabela 2 - Descrição dos estágios vegetativos da soja.

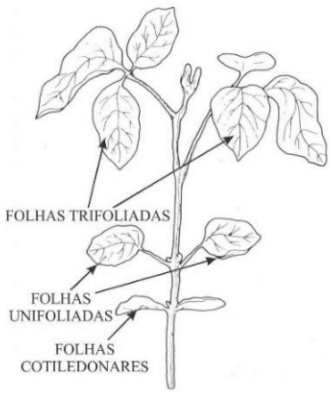
Estágios	Processo	Descrição
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo
VC	Estágio cotiledonar	**Folhas primárias** com as margens não mais se tocando
V_1	Primeiro nó	Folhas primárias desenvolvidas.
V_2	Segundo nó	Folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias.
V_3	Terceiro nó	Três nós do **caule** com folhas desenvolvidas começando com o nó das folhas primárias.
V_n	"n" nó	"n" número de folhas desenvolvidas começando com o nó das folhas primárias.

Fonte: COSTA, 1996.

A semente da soja depois de plantada começa os seus estágios de desenvolvimento a partir de 5 a 7 dias após a semeadura (estágio VE). Nessa etapa, a semente necessita de condições ambientais, principalmente de umidade no solo em torno de 35% a 50%, para poder emergir. Os **cotilédones** são as principais fontes de nutrição da **plântula** durante duas a três semanas após a **emergência**, aproximadamente (VC).

Ao mesmo tempo em que ocorre a formação das primeiras raízes e das **folhas unifoliadas** e **trifoliadas** (formando os primeiros **nós**), há a diminuição gradual das reservas energéticas existentes nos cotilédones (Figura 16) (TONIOLO; MOSCA, 1991).

Figura 16 - Folhas cotiledonares, unifoliadas e trifoliadas da soja.



Fonte: adaptado de TONIOLO; MOSCA, 1991.

Nessa etapa, a soja possui de uma até três folhas definitivas (estágios V_1 a V_3), estando pronta para continuar seu desenvolvimento **autotrófico**. As folhas de modelo unifoliar servem principalmente para a execução dos processos iniciais de fotossíntese e duram de 4 a 6 semanas a contar da data de sua formação, variando de acordo com a cultivar e o período da semeadura.

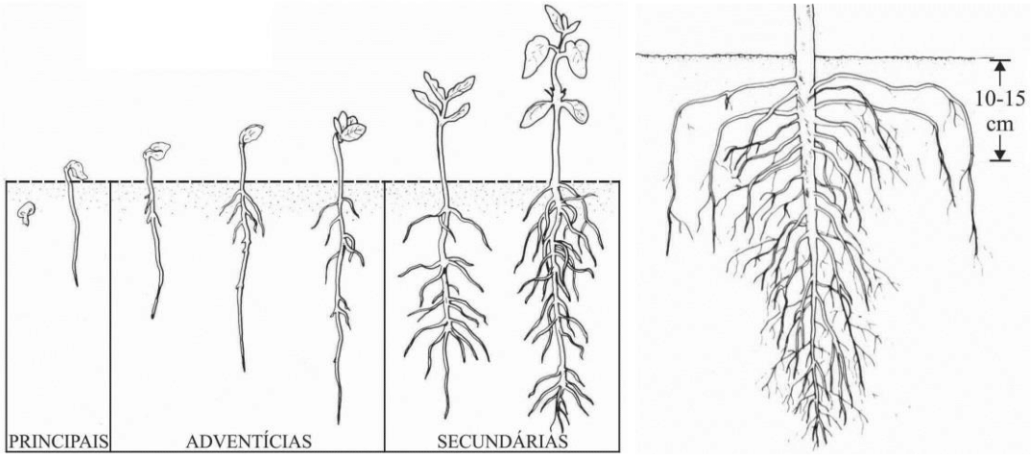
Já o sistema radicular, constituído pelas raízes da soja, tem como funcionalidades e propriedades básicas: a capacidade de absorver a água e nutrientes, além de **nodular** e fixar biologicamente o Nitrogênio (N^2) existente no solo. Para Potafos (1997), a expansão do sistema

radicular é condicionada pelas condições e propriedades físicas do solo, sobretudo aquelas relacionadas à disponibilidade hídrica e de oxigênio.

Costa (1996) afirma que ao longo do processo de germinação da semente de soja, a radícula é a primeira parte do embrião a romper o tegumento. O autor complementa que sob condições habituais, a **radícula** emerge saindo da **micrópila** após, aproximadamente, dois dias da semeadura, sendo que a partir deste momento, recebe o nome de Raiz Primária ou Principal. De quatro a cinco dias seguintes ao momento da semeadura, as primeiras ramificações laterais e os pelos absorventes começam a surgir, ao mesmo tempo em que o **hipocótilo** cresce se alongando, levando os cotilédones acima da superfície do solo. Essa etapa caracteriza-se como sendo a emergência **epígea** da espécie (estágio VE).

O crescimento das raízes da soja avança a**o** mesmo tempo em que a parte aérea da planta se desenvolve, variando de acordo com o grupo de maturação e o tipo habitual de crescimento, geralmente oscilando entre o início da frutificação (R_3, nos cultivares de crescimento determinado) até os estágios intermediários de enchimento dos grãos (R_5 e R_6, nos cultivares de crescimento indeterminado). O tamanho das raízes da soja aumenta com o passar do seu desenvolvimento fenológico, estando a uma profundidade entre 45 e 60 cm (raízes **adventícias**) nas fases iniciais até 180 cm quando o sistema radicular está completo (raízes secundárias), como pode ser observado na Figura 17 (CÂMARA, 2009).

Figura 17 - Fases do crescimento da soja e sua relação com desenvolvimento das raízes.



Fonte: adaptado de TONIOLO; MOSCA, 1991.

A fase reprodutiva da soja ocorre após, ou em certos casos, durante o término do estágio de desenvolvimento vegetativo. Sua primeira característica visível é a abertura da primeira flor (floração), seguindo pelo momento de formação e enchimento dos legumes (frutificação) até culminar no amadurecimento dos legumes (maturação) e demonstrado na Tabela 3.

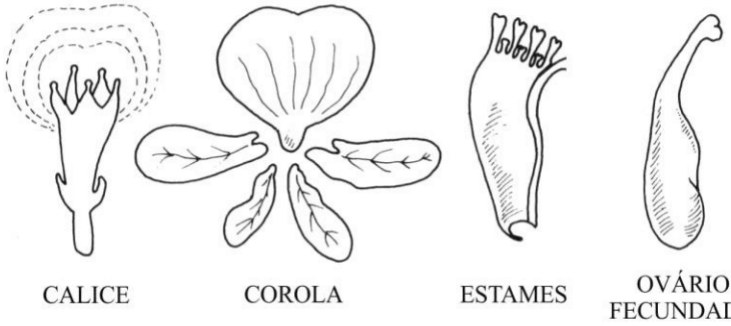
Tabela 3 - Descrição dos estágios reprodutivos da soja.

Estágios	Processo	Descrição
R_1	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer caule.
R_2	Florescimento	Flores nos quatro últimos nós do caule
R_3	Início da formação de legumes	Um legume com 5 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida.
R_4	Formação de legumes	Um dos legumes com 2cm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida.
R_5	Início do enchimento dos grãos	Grãos com 3 mm num dos legumes dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida.
R_6	Máximo volume de grãos	Legume contendo, ao menos um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida.
R_7	Maturação fisiológica	Um legume normal, no caule, que atingiu a cor do legume maduro.
R_8	Maturação	95% dos legumes atingiram a cor do legume maduro.

Fonte: POTAFOS, 1997.

Toniolo e Mosca (1991) explicam que o processo de floração da soja é o primeiro passo para a formação dos legumes (estágios R_1 a R_2), sendo que a flor é constituída de quatro partes bem definidas: o **cálice**, a **corola**, os **estames** e por último o ovário **fecundado**, como pode ser exemplificado pela Figura 18.

Figura 18 - Partes componentes da flor de soja.



Fonte: adaptado de TONIOLO; MOSCA, 1991.

Suas características morfológicas são típicas das plantas leguminosas, possuindo um tamanho pequeno e com coloração variando entre vermelho, branco e violeta. Ela está inserida num **pedúnculo**, que cresce em nós, localizado na axila das **folhas**. Possui um cálice tubular, com corola de cinco pétalas, 10 estames (nove colocados e um separado), que circundam o **pistilo** e um ovário com dois a cinco **óvulos**. A fecundação é autogâmica, ou seja, normalmente o pólen é emitido pelos estames antes de se completar a abertura das outras partes da flor, o que limita a possibilidade de polinização cruzada espontânea (MATTOS, 1987).

A formação dos primeiros legumes (estágios R_3 a R_4) começa entre 10 e 15 dias após o início da floração, alcançando seu tamanho máximo em 30 dias e o seu peso máximo em 40

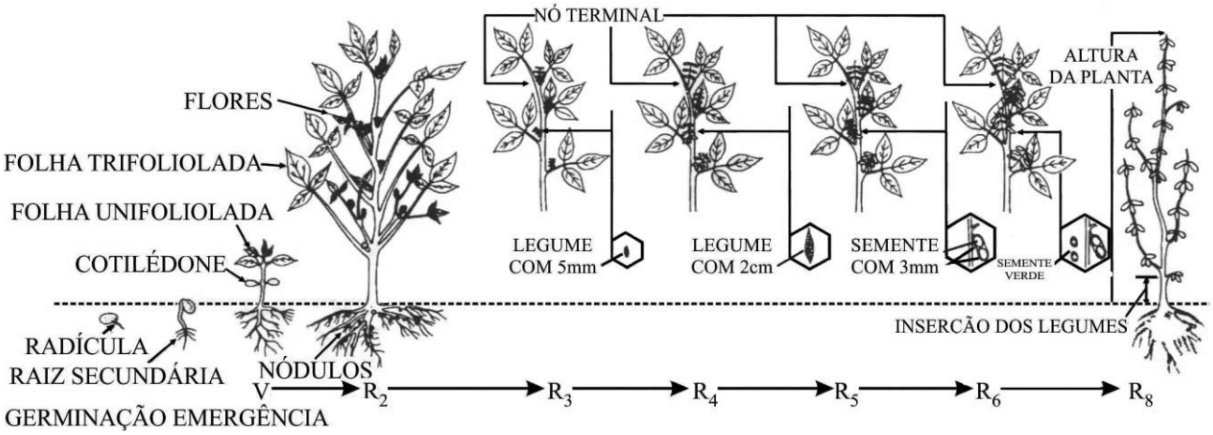
dias. A quantidade de vagens varia de um a vinte, possuindo comprimento médio entre dois e sete centímetros, podendo ser diferente de acordo com cada variedade. Somente 25% a 50% das flores irão resultar em vagens, isso se as condições ambientais, principalmente aquelas ligadas à disponibilidade hídrica favorecerem. Caso o clima seja desfavorável, com baixa pluviosidade, uma grande quantidade de flores pode abortar (SPEHAR et al., 1993).

A partir do início da formação das primeiras sementes (estágio R_5), o enchimento dos grãos torna-se mais intenso, até culminar com o seu máximo peso e dimensão (estágio R_6). É durante este período que a atividade radicular da soja está em sua máxima intensidade, necessitando de grandes volumes de água no solo para aumentar a produção de matéria seca (PALUDZYSZYN FILHO et al., 1993).

O período de maturação fisiológica da soja acontece quando a semente não consegue mais aumentar seu volume e começa a perder umidade (estágio R_7). As vagens, que inicialmente encontravam-se verdes, mudam sua coloração para um tom amarelado. As folhas também acompanham esta característica de mudança de cor, perdendo, consequentemente, suas folhagens rapidamente. A absorção de água do solo diminui à medida que a soja vai alcançando sua maturidade fisiológica (R_7) e finaliza no estágio de maturação final (R_8) (GOMES, 1986).

Em suma, os estágios de desenvolvimento da soja perpassam por diversos períodos de crescimento, desde o momento da germinação/emergência (VE) até a completa maturação dos grãos (R_8), como pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 19 - Estágios de desenvolvimento da soja.



Fonte: adaptado de COSTA, 1996.

Regiões que possuem regime pluviométrico com médias anuais entre 700 e 1.200 mm proporcionam condições propícias para o cultivo dessa cultura, possibilitando que seu cultivo ocorra na grande maioria do Brasil. Mas é fundamental que ao longo do ciclo vegetativo e reprodutivo da soja ocorra a oferta de pluviosidade de modo bem distribuído e em boa

quantidade, em torno de 500 a 700 mm (EMBRAPA, 2011). Isso denota a importância do ritmo pluvial para este tipo de cultura agrícola. Na maioria dos anos agrícolas, a distribuição da pluviosidade no Brasil possibilitou condições que garantiram boas safras de soja. Entretanto houve ocasiões que ocorrem veranicos severos em determinadas regiões que impactaram negativamente no crescimento e desenvolvimento da planta e proporcionaram flutuações no cômputo da produção agrícola nacional.

Ferreira (2010) explica que a demanda hídrica durante o crescimento da planta de soja é muito alta em comparação com outros tipos de cultivares como Batata, Milho, Sorgo, Trigo, etc. A soja necessita absorver pelo seu sistema radicular grandes quantidades de água para o seu pleno desenvolvimento produtivo, já que para cada quilograma de matéria seca produzida por meio da fotossíntese, as plantas eliminam cerca de 580kg de água pela evapotranspiração.

Câmara (2009) expõe que no período que compreende a germinação e a emergência da plântula, a indisponibilidade de água pode ser crítica, pois impossibilita a adequada embebição e germinação da semente.

Quando ocorre deficiência hídrica durante o período vegetativo, a soja pode ser incapacitada de fixar o nitrogênio corretamente, resultando na redução da taxa de crescimento, diminuição da atividade fotossintética e queda na atividade metabólica da planta. Esses aspectos são refletidos nas características do fenótipo da planta, através das menores altura, número de nós, comprimento dos entrenós e turgescência (SOUZA; URBEN FILHO, 1993).

Mas o maior impacto negativo da escassez de umidade no solo no crescimento da soja ocorre durante as fases reprodutivas, principalmente àquelas relacionadas ao florescimento e frutificação da soja (MARIANO, 2010).

Durante a etapa de diferenciação dos botões florais, a deficiência hídrica ocasiona a perda de uma grande quantidade de flores, inclusive se ocorrer um período de seca com posterior excesso de chuvas. Caso as condições de umidade no solo forem de déficit hídrico ou encharcamento do solo nos estágios R_3 e R_4 (frutificação) há possibilidade de abortamentos de vagens (EMBRAPA, 2011).

Outro período em que a planta de soja possui grande sensibilidade à disponibilidade hídrica é durante a fase do intenso acúmulo de matéria seca pelos grãos, denominado como estágio de enchimento dos grãos (R_5, R_6 e R_7). Potafos (1997) aponta que no decorrer dessa etapa é crucial a ocorrência de condições propícias de umidade no solo, com o objetivo de satisfazer as necessidades metabólicas de absorção de água para o pleno desenvolvimento da planta. O mesmo autor continua a explicação que nos momentos de episódios de deficiência hídrica na fase de frutificação desencadeiam drásticos impactos na produtividade agrícola, pois

os grãos não conseguem se desenvolver normalmente acabam gerando no seu abortamento ou com peso inferior em relação ao normal.

Costa (1996) explica que nos últimos estágios de desenvolvimento da soja (períodos R_7 e R_8), caracterizado pela fase de maturação, há a diminuição da necessidade de umidade no solo para o crescimento dos grãos. Porém, pode haver impacto negativo na produção durante esse período fenológico caso ocorra um excesso de água no solo, resultando: no atraso da colheita, devido à dificuldade de trabalho do maquinário em solo encharcado; no amadurecimento precoce dos grãos (como é o caso das cultivares de maturação precoce) que aliada as altas temperaturas pode resultar na ocorrência de microrganismos e no aparecimento de doenças; e quando o grão possui dificuldade de perda da quantidade de água necessária durante o seu processo de amadurecimento, pois para ocorrer a colheita mecanizada o grão de soja necessita estar com baixa umidade para evitar que as colheitadeiras debulhem os grãos de soja.

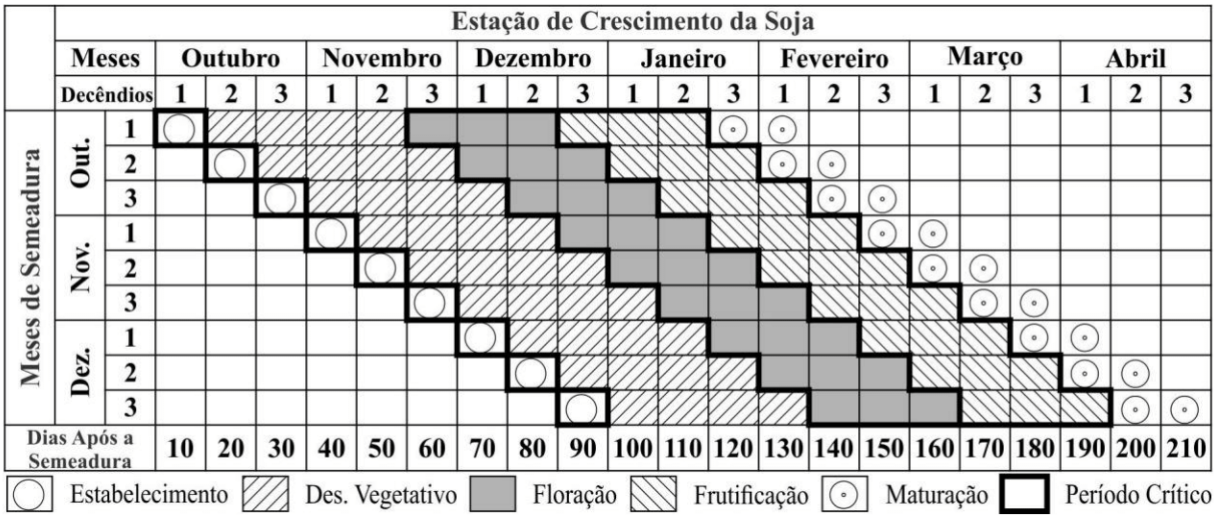
A soja é uma cultura agrícola temporária, que durante todo o período de desenvolvimento fenológico, que varia entre 120 e mais de 135 dias dependendo do cultivar, possui momentos mais ou menos sensíveis às adversidades ambientais, como por exemplo, as excepcionalidades climáticas. Os períodos do ano em que a soja está mais vulnerável aos fatores climáticos, como alta ou baixa precipitação, dependem da data em que foi realizada a semeadura e, consequentemente, do seu estágio de desenvolvimento fenológico.

O período correto de semeadura depende intrinsecamente das condições climáticas, sobretudo da pluviosidade acumulada (COSTA, op. cit.). Para Embrapa (2011), a escolha da melhor data de início do plantio vai determinar a qualidade da produção, pois definirá a duração do ciclo, a altura da planta e a produção de grãos, sendo que a semeadura realizada antes ou depois do período adequado resultará na redução do porte e rendimento da planta.

As características climáticas do Brasil propiciam que o período mais indicado para o plantio da soja seja durante os meses de outubro a dezembro. Entretanto, em 90% dos casos o plantio ocorre ao longo do mês de novembro, devido as condições termofotoperiódicas serem ideais e coincidir com o início do período chuvoso em grande parte do Brasil (EMBRAPA, op. cit.). Portanto, a semeadura em novembro é o mais aconselhável, por agrupar condições ambientais favoráveis ao pleno crescimento e desenvolvimento da soja (FERREIRA, 2010).

O período de semeadura da soja para os municípios produtores do Distrito Federal, Goiás e Minas Gerais pode variar entre os terceiros decêndios de outubro e dezembro (BRASIL, 2016). Com base nessas informações, o Quadro 1 apresenta os momentos mais indicados para o plantio e colheita nos municípios produtores de soja no entorno de Unaí, além de destacar os respectivos estágios de desenvolvimento fenológico para um cultivar de ciclo médio (130 dias).

Quadro 1 - Época da semeadura e estágios fenológicos de um cultivar de soja de ciclo médio.

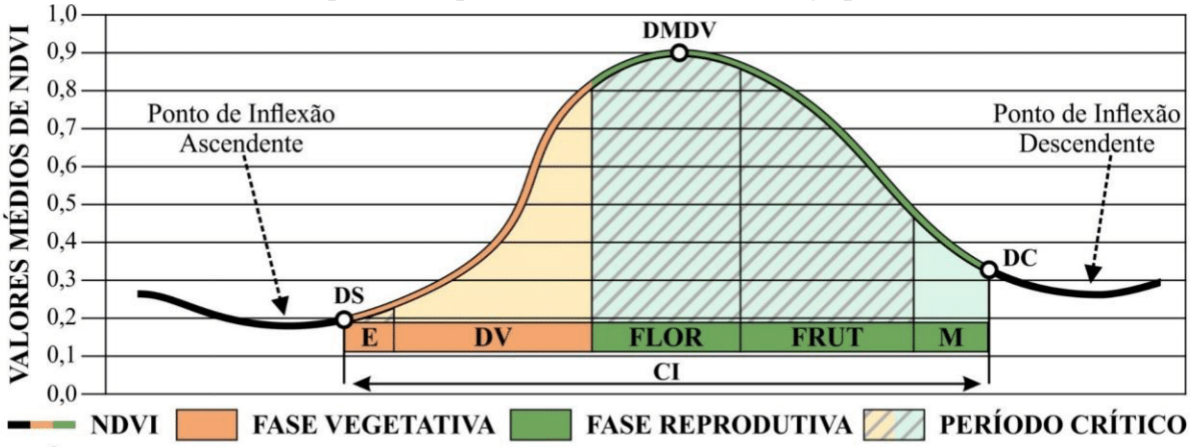


Fonte: adaptado de PEREIRA et al., 2018. Elaborado pelo autor.

A partir das informações do Quadro 1 e conforme a data do plantio, é possível concluir que os períodos mais críticos de sensibilidade da planta de soja ao *stress* hídrico para a área de estudo situam-se entre o terceiro decêndio de novembro e o primeiro decêndio de abril, ligados aos estágios de floração, frutificação e enchimento dos grãos.

Ao analisar a resposta espectral média do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para as plantas de soja (Figura 20) é possível identificar que a curva torna-se ascendente na fase vegetativa e obtém o seu valor máximo no auge da floração, quando há maior índice de área foliar e o auge do processo de fotossíntese, decaindo gradativamente no período de frutificação até a maturação dos grãos (perda das folhas e início da colheita).

Figura 20 - Perfil espectrotemporal médio do NDVI da soja para o sensor MODIS.



PERÍODOS: Data de Semeadura (**DS**), Data de Máximo Desenvolvimento Vegetativo (**DMDV**), Data de Colheita (**DC**) e Duração do Ciclo de Desenvolvimento Total da Cultura (**CI**); **FASES FENOLÓGICAS:** Estabelecimento (**E**), Desenvolvimento Vegetativo (**DV**), Floração (**FLOR**), Frutificação (**FRUT**) e Maturação (**M**)

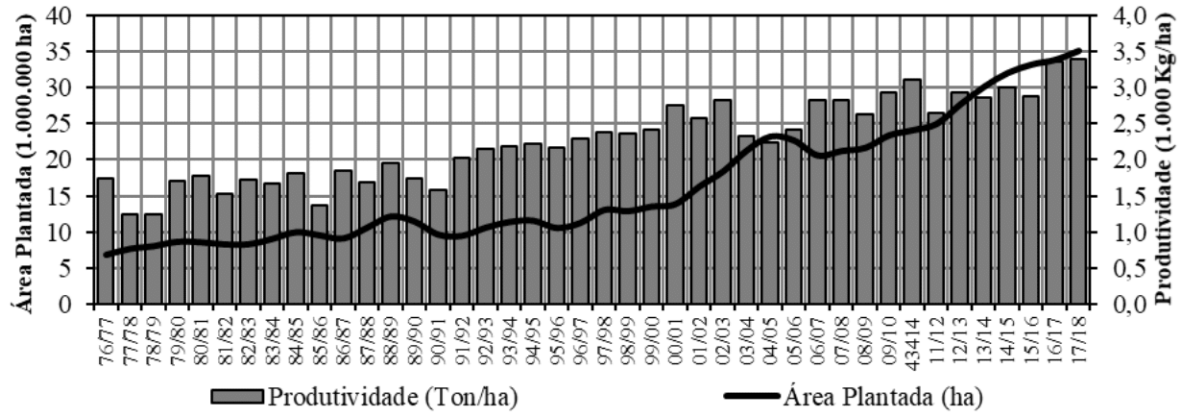
Fonte: adaptado de PEREIRA et al., 2018; JOHANN et al., 2016. Elaborado pelo autor.

As condições médias dos valores de NDVI dependem do pleno desenvolvimento da planta, ou seja, é preciso que as necessidades nutricionais e, em especial, hídricas (ofertada pelos insumos pluviais ou por técnicas de irrigação) sejam plenamente adequadas. Sob esse último aspecto Vianello et al. (2008) discute que a produção agrícola em Minas Gerais está fortemente apoiada na expectativa constante de condições pluviotérmicas propícias para o cultivo. Porém, a variabilidade climática regional pode ocasionar frustração aos agricultores do Estado de Minas Gerais devido à quebra de produtividade, geralmente relacionada a momentos de longos períodos sem chuvas aliado as altas temperaturas que propiciam a ocorrência de veranicos. Assim como qualquer cultura agrícola, a planta de soja também possui uma grande dependência da dinâmica climática, em especial dos insumos provenientes do regime pluvial. Desta maneira, torna-se fundamental conhecer a relação entre os mecanismos climáticos que estão relacionados aos impactos gerados sobre a produtividade.

2.5.2 A soja no Brasil

Em 2018 o Brasil ocupava o patamar de terceiro maior exportador de produtos agrícolas do mundo e o maior em áreas tropicais (ESTADOS UNIDOS, 2018). Costa (1996) destaca que dentre os produtos agrícolas produzidos com fins ao mercado internacional, a soja ocupa importante destaque no cenário agroexportador nacional, devido as condições edafoclimáticas de grande parte do país proporcionarem as capacidades necessárias para produção atender a demanda proteica destinada aos produtos alimentícios *in natura* e industrializados para humanos e animais. Carvalho (2009) pondera que o crescimento e disseminação desta cultura no país ocorreu com maior ênfase a partir da década de 1990, a qual vem constantemente expandindo sua produção no território brasileiro (Figura 21).

Figura 21 - Área plantada e produtividade da soja no Brasil entre 1976/1977 e 2017/2018.



Fonte: CONAB, 2018. Elaborado pelo autor.

A soja é um dos principais produtos agrícolas mundiais, sendo os Estados Unidos da América o primeiro e, muito próximo, o Brasil como o segundo maior produtor mundial. As condições ambientais presentes no país, o crescente avanço das áreas plantadas nos últimos 30 anos e os incentivos governamentais através de subsídios econômicos proporcionaram que a produção nacional de soja seja considerada uma das mais competitivas do mundo e conseguisse disputar terreno no mercado mundial de commodities[2] (Tabela 4).

Tabela 4 - Maiores produtores de soja no mundo em 2016/2017 (milhões de toneladas).

Ranking	País	Produção	Participação mundial
1º	Estados Unidos da América	116,92	33,6%
2º	Brasil	114,60	32,9%
3º	Argentina	55,00	15,8%
4º	China	12,90	3,7%
5º	Índia	10,99	3,2%
6º	Paraguai	10,34	3,0%
-	Outros	27.370	7,9%
-	**Mundo**	**348.120**	**100%**

Fonte: ESTADOS UNIDOS, 2018. Elaborado pelo autor.

Frederico (2010) destaca que o Brasil se tornou um dos países mais importantes na produção desta *commodity* e ganhou notório espaço no mercado mundial, apoiado pelos avanços científicos e tecnológicos no meio rural, através de novas técnicas de plantio, colheita e distribuição.

A importância da soja para a economia nacional se deu através do constante crescimento da demanda de produtos agrícolas na escala global, contribuindo substancialmente para a pauta da balança comercial brasileira através do expressivo quantitativo de exportações, além de ser um grande contribuinte do PIB desde a década de 1990 (IBGE, 2018b).

Mas a fronteira agrícola nacional sempre teve como empecilho para sua expansão as áreas que não tinham condições ambientais propícias para o desenvolvimento da soja, tais como acidez e pobreza de nutrientes do solo, os elementos climáticos desfavoráveis (radiação solar, insolação, temperatura do ar e pluviosidade), pragas e a logística de escoamento da produção, ligada à infraestrutura regional/local de rodovias, ferrovias e portos (SANTOS, 2002).

Os avanços técnicos provenientes da agronomia proporcionaram o melhoramento genético da soja e possibilitou um elevado crescimento da produtividade e a expansão de áreas

[2] *Commodity* é a palavra inglesa para o termo "mercadoria". Utiliza-se como referência aos produtos de origem primária nas bolsas de mercadorias, possuindo seu valor agregado à variação da oferta e procura em escala global. No caso da soja, a variação do preço no mercado mundial é fruto da estimativa, estudos e especulações da produção agrícola global, sendo as negociações nos preços de venda e compra estipuladas na bolsa de valores de Chicago, nos Estados Unidos da América (GIOVANNETI; LACERDA, 1996).

agrícolas no país, por meio da adaptação de espécies em áreas que naturalmente não são propícias para o desenvolvimento desta cultura, através do desenvolvimento de cultivares resistentes a maior escassez hídrica, a pragas, a pesticidas, etc.

No Brasil, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desenvolve desde 1973 estudos de novas cultivares adaptadas às características fisiográficas regionais através da cooperação com empresas mundiais do ramo de desenvolvimento técnico de sementes (EMBRAPA, 2011), com o intuito de diminuir a dependência de importados de outros países, sobretudo os provenientes dos Estados Unidos. De acordo com Frederico (2010, p. 125), todo este investimento visava "atender a uma nova demanda, sendo criadas naquela época, a Embrapa Cerrado e a Embrapa Soja, com o objetivo de estudar as características naturais da região e desenvolver cultivares adaptadas às baixas latitudes".

Um dos melhores exemplos deste avanço da agricultura no território brasileiro consiste no avanço das áreas destinadas ao plantio de soja no bioma Cerrado. Porém, é fundamental ressaltar que o sucesso da sojicultura nessa região do país somente conseguiu alcançar esse patamar após a consolidação e implementação de forte aporte técnico e tecnológico, aliado ao longo processo de uso e ocupação de áreas que até meados da década de 1980 não eram explorados comercialmente pela agricultura nacional, por serem consideradas inapropriadas para determinadas culturas agrícolas (FREDERICO, op. cit.).

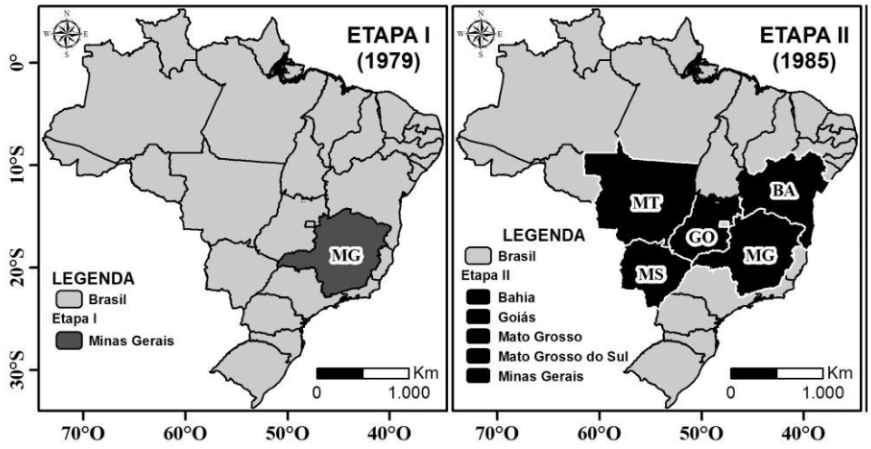
Aliam-se a esta perspectiva de expansão das áreas de soja no Brasil, as seguintes condições: (1) o baixo preço destas terras; (2) a criação e consolidação dos centros de pesquisas na área agrícola (o Centro Nacional de Pesquisa de Soja [CNPSo], o Centro de Pesquisas Agropecuárias dos Cerrados [CPAC] e o Centro de Pesquisas Agropecuárias do Oeste [CPAO]); (3) os avanços tecnológicos na área de sementes geneticamente modificadas; (4) a menor necessidade de mão de obra pela automação e mecanização do campo; e, sobretudo, (5) os incentivos estatais de crédito agrícola e de infraestrutura nacional (MARIANO, 2010). Todo o aporte científico elencado auxiliou nos constantes resultados obtidos pelas safras agrícolas, que apresentam anualmente maiores quantitativos de produção e aumento considerável da produtividade em relação as safras anteriores (IBGE, 2018b).

Além da implementação dos fatores técnicos, tecnológicas e de ocupação já mencionados, é importante salientar o papel crucial do incentivo de diversos programas e políticas públicas de apoio à produção agrícola nacional. Mariano et al. (2006) explicam que a mais antiga ação governamental de financiamento agrícola do Brasil foi o Programa de Desenvolvimento do Cerrado (PRODECER) lançado na década de 1970, o qual ajudou a

impulsionar a ocupação, a produção e a expansão da soja em grande parte do país (MARIANO et al., 2006).

O PRODECER foi desenvolvido em três etapas, porém as duas primeiras foram as mais importantes na área de estudo (Figura 22). A primeira fase beneficiou a porção sul dos Cerrados, mais especificamente o Estado de Minas Gerais. A segunda fase correspondeu à porção central dos Cerrados, nos Estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Bahia.

Figura 22 - Histórico das regiões beneficiadas pelo Projeto PRODECER**.**



Fonte: elaborado pelo autor.

O principal instrumento do PRODECER foi o crédito supervisionado, com linhas de financiamento abrangentes, com o objetivo de proporcionar empréstimos fundiários para investimentos, despesas operacionais e assistência ao colono (FREDERICO, 2010). A partir dessa perspectiva, é possível identificar uma clara relação entre as etapas de incentivos e subsídios estatais no meio rural na região denominada como "Brasil Central" e a concentração da maior produção de grãos do país a partir da década de 1970 (RODRIGUES et al., 2009).

Entretanto, Silva (2010, p. 101) destaca que o objetivo proposto pelo PRODECER sempre foi de promover "o assentamento de agricultores com emprego de alta tecnologia, com o intuito de abastecer a demanda agrícola internacional através de excedentes agrícolas".

O quadro apresentado possibilita compreender que grande parte da produção nacional de soja não propõe suprir o mercado interno, muito pelo contrário, essa produção visa atender, majoritariamente, o mercado internacional. Nos dias atuais essa constatação consolida-se em atender, especialmente, a emergente demanda proveniente da China, que é considerado o maior parceiro comercial desse grão e importante ator na balança comercial brasileira (IBGE, 2018b). Essa estratégia comercial impulsionou e possibilitou à soja ostentar junto a economia brasileira a condição de principal produto agrícola na pauta de exportações (CARVALHO, 2009).

Silva (2010) faz uma importante ponderação sobre a situação da sojicultura no Brasil, ao enfatizar que essa realidade conjuntural, fortemente apoiada por fatores técnicos, econômicos e políticos, acabaram beneficiando preferencialmente o setor privado, as grandes propriedades e as multinacionais. Na concepção do mesmo autor, essas circunstâncias desfavoreceram o pequeno produtor familiar, fortaleceu a especulação fundiária, intensificou a expansão dos latifúndios destinados a produção de monoculturas, ampliou e solidificou o processo de concentração de renda e terras no meio rural, expandiu e consolidou a destruição do patrimônio ecológico nacional e lançou as bases que subsidiaram o sucesso econômico do agronegócio no Brasil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DADOS CLIMÁTICOS

De acordo com Nimer (1989), os maiores volumes pluviométricos na área de estudo ocorrem entre a primavera e verão (outubro a março). Como esse trabalho visa compreender o regime climático ao longo do cultivo da soja, é necessário que a escala temporal adotada possibilite contemplar o comportamento sequencial do ritmo pluvial, por esse ser um dos mais importantes insumos climáticos para o crescimento da planta. A partir dessa premissa, não é possível adotar o ano civil (janeiro a dezembro) como recorte temporal de análise, pois não possibilitaria analisar continuamente as condições climáticas ao longo do ciclo de cultivo da soja. Desse modo, foi definido para fins de cômputo e síntese dos dados climáticos analisados o período referente aos meses de julho a junho, também chamado de ano agrícola, com o intuito de abranger a manifestação dos seus elementos (sobretudo da distribuição das chuvas) no decorrer de 12 meses seguidos.

O início da compreensão do clima regional perpassa pela utilização dos dados médios obtidos para 22 estações meteorológicas do INMET, sintetizados pelas Normais Climatológicas Provisórias correspondente ao período entre 1981 e 2010 (INMET, 2018b).

A partir das Normais Climatológicas Provisórias foram definidos os principais aspectos climáticos, através da: (1) construção de mapas referentes às médias anuais de pluviosidade e temperatura do ar (máxima, média compensada, mínima e amplitude térmica); (2) confecção de gráficos de Climograma e de BHC na escala mensal para as estações situadas nos limites dos transectos A-B (oeste/leste) e C-D (sul/norte).

É importante ressaltar que as médias climáticas possibilitam vislumbrar o início da compreensão do clima regional, entretanto, seus valores mascaram importantes informações que só podem ser esclarecidas ao empregar a concepção dos preceitos vinculados à variabilidade climática e, consequentemente, dos seus aspectos genéticos e dinâmicos (MONTEIRO, 1971). A partir dessa perspectiva apontada por Monteiro (op. cit.) e com o intuito de transcender as informações proporcionadas pelas médias, buscou-se dados meteorológicos que possibilitassem compreender as características relacionados a variação temporal e espacial dos elementos climáticos, principalmente aqueles relacionados a precipitação e/ou temperatura.

Os dados meteorológicos obtidos para área de estudo e suas adjacências abrangem os limites espaciais de 13º a 20º Sul e 41º a 51º Oeste, ou seja, além dos limites político-administrativos das microrregiões, com o objetivo de compreender todo o contexto regional onde as microrregiões estão inseridas. Os dados foram adquiridos, inicialmente, na escala diária para 71 estações meteorológicas do INMET (2018a) e 1.213 estações pluviométricas da ANA (2018), as quais passaram por critérios de seleção que serão descritos a seguir.

3.1.1 Critérios para seleção das estações e preenchimento de falhas nos dados

Através do desenvolvimento de automatização de rotinas computacionais no *software* Microsoft Excel© 2016, todas as 1.284 estações foram avaliadas individualmente em relação a ocorrência de falhas na quantidade diária de dados mensais de temperatura e/ou precipitação.

Foi aplicada as normatizações de consistência de dados meteorológicos preconizados pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1989), que estabelece: a definição dos meses que possuem falhas nos dados de temperatura teve como base o "critério 3:5", que orienta descartar séries de dados mensais quando houver a falta de registros em 3 dias consecutivos ou 5 dias alternados; para os dados de precipitação foram aproveitadas somente as séries temporais mensais que possuem todos os registros diários completos, ou seja, sem nenhuma falha diária.

Diante dos critérios de seleção foi possível avaliar o conjunto de dados que representasse a melhor sobreposição temporal e espacial das estações, ao definir: (1) a maior quantidade de estações que possuíam a menor quantidade de erros; (2) o maior lapso temporal possível ao utilizar estações de importante representatividade espacial em relação ao contexto regional.

A partir dos critérios estabelecidos de sobreposição temporal e relevância espacial, foram aproveitadas 122 estações (22 do INMET e 100 da ANA) com dados entre os anos de 1995/1996 e 2014/2015. O mapa de localização e a lista de todas as estações meteorológicas e pluviométricas utilizadas encontram-se, respectivamente, na Figura 27 (p. 87) e Anexo A (p. 308).

Para o preenchimento das falhas dos dados mensais de temperatura foi definida a técnica de Regressão Linear Múltipla (SEDIYAMA; MELO JUNIOR, 1998). Foram utilizados como variáveis independentes a latitude, a longitude e a altitude de cada uma estação e, como variável dependente, a temperatura registrada nas estações meteorológicas que apresentavam dados completos do mês que necessitava ser preenchido, conforme é observado na Fórmula 1.

$$T = \beta_0 + \beta_1 Y + \beta_2 X + \beta_3 ALT \qquad \text{Fórmula 1}$$

Em que,

T= temperatura do ar (ºC);

β_0= constante de regressão;

Y= coordenada geográfica de latitude (graus decimais);

X= coordenada geográfica de longitude (graus decimais);

ALT= altitude (metros); e

β_1, β_2 e β_3= coeficiente de regressão para as variáveis Y, X e ALT.

A qualidade dos modelos estimados foi aferida pelo cálculo do Coeficiente de Determinação (R^2), conforme sugere Rogerson (2012) e dado pela Fórmula 2.

$$R^2 = \left(\frac{\sum(x_i - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2)(\sum(y_i - \bar{y})^2)}} \right)^2 \qquad \text{Fórmula 2}$$

Em que,

x e y = variável observada e variável estimada pelo modelo; e

$\bar{x}$ e $\bar{y}$ = médias da variável observada e da variável estimada pelo modelo.

Após preenchidos os dados das estações meteorológicas, foram estimadas as médias mensais das temperaturas (mínima, média compensada e máxima) para cada uma das 100 estações pluviométricas da ANA, através dos coeficientes de regressão calculados para o preenchimento das falhas dos dados do INMET e pelo uso da Fórmula 1 (foram estimados 24.000 meses para cada uma das três variáveis de temperatura). Todos os coeficientes mensais de regressão utilizados e os seus respectivos R^2 estão presentes no Apêndice A (p. 279).

As médias mensais originais e preenchidas das estações do INMET e as estimadas para as estações da ANA foram cartografadas com o objetivo de compreender a variabilidade espacial da temperatura do ar mensal e anual entre 1995/1996 e 2014/2015.

O preenchimento das falhas dos dados de pluviosidade passou por etapas mais complexas. Inicialmente as estações meteorológicas e pluviométricas foram agrupadas em relação a consistência dos seus dados brutos e de acordo com os quantitativos de erros mensais, ao definir como critério de seleção o limiar máximo de quatro falhas mensais dentro de um mesmo ano. As estações que ultrapassassem esse critério seriam automaticamente descartadas, pois o uso recorrente de técnicas de preenchimento de falhas poderia gerar alterações significativas nos totais anuais acumulados e distorcer as análises.

A metodologia aplicada para preenchimento das falhas de precipitação foi a Regressão Linear Múltipla, a partir dos testes aplicados e nos resultados obtidos por Silva e Jardim (2017), que consiste na utilização de informações pluviométricas do posto a ser preenchido e ao correlacioná-lo com as observações das estações meteorológicas e/ou pluviométricas vizinhas com dados sem falhas, através da Fórmula 3:

$$y_c = a_1.x_1i + a_2.x_2i + a_3.x_3i + \cdots + a_n.x_ni + a_0 \qquad \text{Fórmula 3}$$

Em que,

y_c = precipitação da estação a ser estimada (mm);

n = o número de estações consideradas;

a_1, a_2, a_3, $\cdots$, a_n = coeficientes estimados de precipitação de cada estação;

x_1i, x_2i, x_3i, $\cdots$, x_ni = observações de precipitação registradas nas estações de apoio sem falhas;

a_0= constante de regressão.

Para a execução do preenchimento das falhas nos dados mensais de precipitação foram adotados os seguintes critérios propostos por Tucci (2000): (a) a estação preenchida teve o apoio de no mínimo 3 estações adjacentes, as quais deveriam possuir todos dados mensais de pluviometria completos e sem falhas entre 1995/1996 e 2014/2015 em relação ao mês que estava sendo preenchido; (b) as estações de apoio deveriam possuir proximidade espacial, altitude semelhante e coeficiente de correlação mínimo de 0,6; e (c) após a estação ter todos os seus meses preenchidos ela deve possuir R^2 mínimo de 0,9 após passar pelo processo de validação e consistência dos dados pela metodologia da Dupla Massa.

Os dados diários de pressão atmosférica obtidos ao nível das estações meteorológicas (INMET, 2018a) foram devidamente ajustados ao nível médio do mar conforme orientações definidas pela WMO (1964), com o objetivo de padronizar as diferenças barométricas presentes nas estações situadas nas diferentes altitudes das microrregiões analisadas.

3.1.2 Balanço hídrico climatológico e meses secos

Dentre as variáveis preponderantes no ciclo de crescimento da planta de soja, desde a germinação até o pleno desenvolvimento fenológico, a quantidade de água armazenada no solo pelo processo de infiltração da pluviosidade é um dos fatores primordiais.

Para inferir a quantidade de água disponível no solo para as plantas de soja e a sua consequente perda por evapotranspiração foi empregado os cálculos do BHC. Foi utilizado, inicialmente, os cálculos de evapotranspiração potencial (ET'_p) através da estimativa do método de Thornthwaite e Mather (1948). Este é um método amplamente utilizado, pois possui grande vantagem em relação a outras propostas de estimativa de evapotranspiração por necessitar de somente duas variáveis de entrada: a temperatura e a pluviosidade. A equação para o cálculo da ET'_p baseia-se em um mês padrão com 30 dias e luz solar durante 12 horas diárias (Fórmula 4).

$$ET'_p = 16 \cdot \left(\frac{10T_a}{I}\right)^a \qquad \text{Fórmula 4}$$

Em que:

ET'_p= evapotranspiração potencial não ajustada;

T_a= temperatura do ar média mensal (ºC);

I = índice anual de calor.

O índice anual de calor (I) da Fórmula 3 é feito através do cálculo da soma dos índices mensais de calor (i) em um período de 12 meses, sendo adquirido por meio da Fórmula 5:

$$i = \left(\frac{T_a}{5}\right)^{1,514} \qquad \text{Fórmula 5}$$

Em que:

i = índice mensal de calor para o mês (i = 0, quando $T_a \leq 0$ºC);

T_a= temperatura do ar média mensal (ºC).

A expressão que calcula o expoente "a" da Fórmula 7 é dado pela Fórmula 6:

$$a = 6{,}75 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{-8} - 77{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot I^2 + 0{,}0179 \cdot I + 0{,}492 \qquad \text{Fórmula 6}$$

As informações obtidas pela evapotranspiração potencial (não ajustada), calculado pela Fórmula 3 (ET_p), necessitam ser corrigidos para a duração do dia (d) e para o número de dias do mês (N), com o objetivo de se obter o valor ajustado. Pereira et al. (2018) salientam que a duração média mensal da luz solar é computada em horas, além de ser um valor tabelado e variar conforme o mês do ano e a latitude. A Fórmula 7 apresenta o cálculo necessário para obter os valores ajustados:

$$ET_p = ET_p^{'} \cdot \left(\frac{d}{12}\right) \cdot \left(\frac{N}{30}\right) \qquad \text{Fórmula 7}$$

A Capacidade de Água Disponível (CAD) varia conforme as propriedades físicas do solo. Na área de estudo a CAD foi estimada em 100 mm, através de recomendação feita pelo Ministério da Agricultura e Pecuária para a safra de soja entre e 2014/2015 (BRASIL, 2016), além de estar apoiado pela sugestão de Nimer e Brandão (1989), Santos (2002; 2005) e Pereira et al. (2018) para as características médias dos solos do Cerrado brasileiro.

Calculou-se também o Armazenamento de Água no Solo (ARM), a Evapotranspiração Real (ET_r), a Deficiência Hídrica (DEF) e o Excedente Hídrico (EXC). O valor de ARM é obtido através da relação exponencial que envolve parâmetros como a CAD e a perda de água acumulada (negativo acumulado no período anterior - NEG.ACUM), calculando-se através da Fórmula 8:

$$ARM = CAD \cdot e^{\left(\frac{NEG.ACUM}{CAD}\right)} \qquad \text{Fórmula 8}$$

Pereira et al. (2018) explanam que a Evapotranspiração Real (ET_r) ocorre em função da disponibilidade de água no solo a partir da relação entre a ET_p e a Precipitação (P). Quando não há restrição hídrica a $ET_r = ET_p$, entretanto, quando o ARM do mês anterior é negativo a ET_r é igual a P mais a ARM do mês anterior.

Biscaro (2007) explica que a DEF é calculada através da ET_p- ET_r. Os mesmos autores complementam que o EXC é considerado inexistente quando a ARM < CAD (período de estiagem), porém, quando a ARM = CAD há sobra de água no solo no período chuvoso, sendo o EXC calculado pela diferença entre a P e a ET_p menos a alteração da ARM do mês anterior.

Em geral, o método de Thornthwaite e Mather (1955) é uma importante ferramenta que permite monitorar as condições agrometeorológicas e sua relação com a disponibilidade hídrica no solo, envolvendo variáveis relacionadas às características edafoclimáticas. Nesse aspecto, Doorenbos e Kassam (1994) explicam que o Déficit de Evapotranspiração Relativa (DER) é um importante índice que visa expressar a intensidade da DEF e possibilita correlacionar diretamente o *stress* hídrico com o rendimento das culturas agrícolas (Fórmula 9).

$$\mathrm{DER} = 100 - \frac{\mathrm{ET_r\ Anual}}{\mathrm{ET_P\ Anual}} \qquad \text{Fórmula 9}$$

Em que:

DER= déficit de evapotranspiração relativa;

ET_r Anual= somatório da evapotranspiração real em milímetros (julho a junho);

ET_P Anual= somatório da evapotranspiração potencial em milímetros (julho a junho);

O resultado da DER é expresso por valores entre 0 e 100 e indicam que quanto mais próximo de 100 maior será a queda relativa na produção agrícola e quanto mais próximo de 0 representa menores restrições por déficit de evapotranspiração relativa (OMENA, 2014).

Para facilitar o trabalho de cálculo dos BHC Normal e Sequencial, foi utilizada uma adaptação da proposta feita por Rolim et al. (1998), através do cálculo de todas as fórmulas por meio do *software* computacional Excel© 2016.

Foram calculados o BHC para os 20 anos analisados nesse trabalho com suas respectivas médias em diferentes recortes temporais e conforme a fonte dos dados: para as 22 estações meteorológicas foram confeccionados nas escalas mensal, a exemplo dos trabalhos de Tarifa (1973) para Presidente Prudente-SP, de Boin (2000) na porção oeste do Estado de São Paulo e de Silva (2013) para o município de Pedro Afonso-TO; para as 100 estações pluviométricas foram realizados na escala mensal (os dados de temperatura média compensada foram estimados pela Fórmula 1), semelhante ao que foi aplicado por Aouad (1983) na definição da classificação de unidades climáticas para o Estado da Bahia. Nas estações situadas nos transectos A-B e C-D foram construídos gráficos do BHC: (a) na escala mensal das Normais Climatológicas Provisórias, da média dos 20 anos (1995/1996 a 2014/2015) e de dois anos selecionados; (b) na escala diária para inserção nos gráficos de Análise Rítmica.

Além das informações oriundas do BHC, também foi realizada a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) nas 122 estações analisadas, com o intuito de caracterizar espacialmente os tipos climáticos segundo um modelo fundamentando em base analítica (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2009). A partir das informações obtidas pelos BHC Normal e Sequencial para cada estação, foram calculados os Índices Climáticos de Aridez (Ia), Hídrico (Ih) e de Umidade (Im), conforme podem ser observados, respectivamente, nas Fórmulas 10, 11 e 12.

$$Ia = \frac{DEF}{ET_p} * 100 \qquad \text{Fórmula 10}$$

$$Ih = \frac{EXC}{ET_p} * 100 \qquad \text{Fórmula 11}$$

$$Im = \frac{(100 * EXC) - (60 * DEF)}{ET_p} \qquad \text{Fórmula 12}$$

Onde:

Ia = Índice de aridez;

Ih = Índice hídrico;

Im = Índice de umidade;

DEF = Deficiência hídrica;

EXC = Excedente hídrico; e

ET_p= Evapotranspiração potencial;

A definição das tipologias climáticas baseada no índice de umidade do BHC (Tabela 5) foi estabelecida pela aplicação da segmentação dos valores obtidos pelo Im para cada estação, conforme foi apresentado por Ayoade (2007), Mendonça e Danni-Oliveira (2009) e semelhante ao que foi aplicado por Nimer e Brandão (1989).

Tabela 5 - Tipologia climática baseada no Índice de Umidade do Balanço Hídrico.

Tipos climáticos	Índice de umidade (Im)
A- Superúmido	> 100
B4-Úmido	80 a 100
B3-Úmido	60 a 80
B2- Úmido	40 a 60
B1- Úmido	20 a 0
C2- Sub-úmido	0 a 20
C1- Sub-úmido seco	-33,3 a 0
D- Semiárido	-66,7 a -33,3
E- Árido	-100 a -66,7

Fonte: MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2009.

De modo complementar as tipologias propostas por Thornthwaite e Mather (1955), foi realizada a classificação dos tipos climáticos baseada na proposta de Nimer (1979; 1989) para os climas do Brasil. De acordo com o autor, os períodos de estiagem são estabelecidos a partir do critério preconizado por Gaussen e Bagnouls, que consideram um mês seco cujo total de precipitação em milímetros é igual ou inferior ao dobro da temperatura em graus Celsius ($P \leq 2T$). As isotermas de Köppen foram utilizadas na diferenciação das regiões térmicas, ao adotar a média de 18°C do mês mais frio como limite entre os climas quentes (>18°C) e subquentes (< 18°C). As classes climáticas de acordo com Nimer (op cit) foram sintetizados na Quadro 2.

Quadro 2 - Tipologia climática de Nimer.

Regiões térmicas	Meses de Seca	Tipo climáticos
Subquente	4	Semiúmido (4 meses de seca)
Quente	5	Semiúmido (5 meses de seca)
	6	Semiárido brando (6 meses de seca)
	7	Semiárido mediano (7 meses de seca)

Fonte: NIMER, 1979; 1989. Elaborado pelo autor.

A pesquisa realizada neste trabalho contempla um volume de dados climáticos e um quantitativo de estações muito superior em comparação ao que foi utilizado por Nimer (1989), permitindo desse modo maior detalhamento das características climáticas das microrregiões ao abranger localidades que outrora não puderam ser analisadas de forma minuciosa devido as limitações ligadas a escassez de informações meteorológicas.

Também foram definidos os períodos de veranico agrícola para as estações dos transectos A-B e C-D a partir da junção das propostas de Agritempo (2018) e Hernandez et al. (2003), ao considerar quatro ou mais dias consecutivos com precipitação menor que a evapotranspiração diária durante os meses de primavera-verão.

Todos os dados meteorológicos (pluviometria, total de dias secos com precipitação <1mm, temperaturas mínima, média compensada, máxima e amplitude térmica) e BHC (ETP, DER, volume de DEF e EXC de água no solo, total meses com DEF e EXC, diferença entre EXC e DEF, e Im) nas escalas mensal, sazonal, anual, e também das tipologias climáticas de Nimer (1989), foram interpolados pela técnica de Krigagem Ordinária Linear (PERIN et al., 2015) ao empregar como semivariograma o modelo esférico com raio de busca de 12 pontos. Os resultados obtidos pelas interpolações para os dados das Normais Climatológicas Provisórias (1981/2010), da média histórica (1995/1996 a 2014/2015) e dos dois anos selecionados foram cartografados num ambiente digital de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

3.1.3 Análise estatística e definição dos períodos padrão de pluviosidade

A partir da definição do recorte temporal de 20 anos e após a o preenchimento das falhas dos dados mensais de pluviosidade, todas as informações foram organizadas, sistematizadas e sintetizadas individualmente para cada estação. A partir dessa etapa foram realizadas análises de estatística descritiva de medidas de tendência central e de dispersão, as quais foram representadas por gráficos de *Box-Plot*, total anual acumulado e desvio anual relativo à média.

As técnicas de medidas de tendência central utilizadas foram a média aritmética simples, que consiste na soma dos valores de precipitação dividido pelo número de dados mensais ou anuais, e a mediana, que propõe dividir o conjunto amostral de dados de pluviosidade em duas partes iguais, através dos valores que apresentam as metades maior e menor (GERARDI; SILVA, 1981).

Já as técnicas de medida de dispersão adotadas nesse trabalho possuem o objetivo de compreender como os dados de pluviotérmicos na escala mensal, sazonal e anual estão distribuídos dentro do conjunto amostral dos quais eles pertencem, sobretudo no que tange a amplitude e/ou desvios em relação à média e à mediana. Essas técnicas evidenciam parte das condições vinculadas à variabilidade dos totais pluviométricos acumulados, ou seja, estão relacionados ao ritmo pluvial. Foram adotadas as técnicas de Desvio-padrão (Fórmula 13), que mede a dispersão dos dados em torno da média amostral, e o Coeficiente de Variação (Fórmula 14), que apresenta a dispersão em porcentagem do conjunto de dados ao relacionar o Desvio-padrão e a média aritmética simples (ZAVATTINI; BOIN, 2013).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \qquad \text{Fórmula 13}$$

Em que,

σ = Desvio-padrão;

x_i= valor individual da observação;

$\bar{x}$= média do período; e

N= número de observações.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \qquad \text{Fórmula 14}$$

Em que,

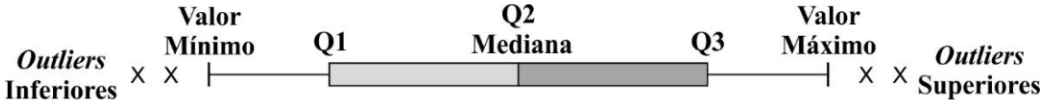
CV = Coeficiente de variação;

σ = Desvio-padrão; e

$\bar{x}$= média do período.

Outra técnica usada foi o *Box-Plot* ou Diagrama de Caixa (Figura 23), que permite a análise exploratória dos dados de chuva através da simples visualização de como ocorre a distribuição e dispersão empírica do conjunto amostral, ao utilizar sua subdivisão pela técnica dos Quartis (GERARDI; SILVA, 1981). A autora explica que o *Box-Plot* possui as seguintes características: uma caixa subdividida em duas partes que apresentam os valores referentes ao primeiro (Q1) e terceiro (Q3) quartil e, no limiar entre eles, o valor do segundo quartil (Q2) referente a mediana; as hastes inferiores e superiores representam, respectivamente, os valores mínimos e máximos não extremos; e os valores extremos (*outliers*) representados pelo símbolo de um "x" são caracterizados como os valores situados 1,5 vezes em relação ao Desvio Interquartílico (Q3-Q1), situados nos limites inferior ou superior das hastes.

Figura 23 - Exemplo conceitual da distribuição de dados no gráfico de *Box-Plot*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir das análises estatísticas realizadas foi possível estabelecer uma visão inicial de como ocorre os totais acumulados de chuva nas escalas mensal e anual. Com base nessas informações houve a possibilidade de compreender parte das condições ligadas a variabilidade do ritmo pluvial ao longo do tempo. A próxima etapa visou propor classes de agrupamentos que representassem a intensidade dos volumes pluviométricos em diferentes recortes temporais para cada uma das 122 estações, por meio do emprego da técnica dos períodos-padrão (mensal e sazonal) e anos-padrão de pluviosidade.

A técnica de Sturges foi utilizada para determinar a quantidade de classes (k) para um determinado conjunto de dados e foi aplicada para os períodos padrão (mensal, sazonal e anual) e das demais classes quantitativas presentes nos mapas de pluviosidade e variáveis do BHC, através da seguinte Fórmula 15.

$$\mathrm{k} = 1 + 3{,}322 \log_{10} \mathrm{N} \qquad \text{Fórmula 15}$$

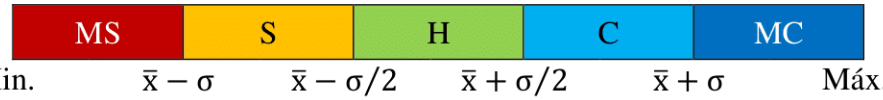
Após a definição da quantidade de classes deve-se calcular a Amplitude do Intervalo de Classes (AI), com o objetivo de definir qual o valor adequado dos limiares interclasses mínimos e máximos, dado pela Fórmula 16. Os valores dos conjuntos de dados são distribuídos entre os intervalos de classe que possuem internamente a mesma amplitude.

$$AI = \frac{(Máximo - Mínimo)}{k} \qquad \text{Fórmula 16}$$

Zavattini e Boin (2013) explicam que a técnica de Sturges possui importante característica na definição da quantidade de classes de anos-padrão, ao possibilitar sua padronização por meio de um viés estatístico ao invés da escolha subjetiva do pesquisador, sendo desse modo um método robusto para delimitação dessa característica.

A partir dessa premissa, foi definida como as cinco classes de intensidade de períodos-padrão (mensal e sazonal) e anos-padrão de pluviosidade a nomenclatura proposta por Silvestre et al. (2013): Muito Seco (MS), Seco (S), Habitual (H), Chuvoso (C) e Muito Chuvoso (MC). A técnica de segmentação empregada foi o Desvio-padrão em relação à média por ser um critério muito utilizado na climatologia geográfica para determinar as classes de anos-padrão (SILVESTRE et al.,2013). Nesse trabalho foi adotado o mesmo critério de divisão de classes de pluviosidade empregado por Sant'anna Neto (1990) e exemplificado na Figura 24.

Figura 24 - Ilustração da divisão de período e ano-padrão em pela técnica de Desvio-padrão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram calculados os períodos-padrão mensal (29.280), sazonal (9.760) e ano-padrão (2.440) das 122 estações, os quais foram parcialmente ou totalmente espacializados por meio do Diagrama de Voronoi. Essa técnica possibilitou a criação de polígonos que representam as estações meteorológicas ou pluviométricas e cuja a distância entre os seus limites e as estações vizinhas fossem representadas pela menor distância possível, conforme proposto por Nascimento et al. (2015).

A variabilidade pluvial é fortemente influenciada pelos fatores climáticos zonais e regionais, inclusive pelas teleconexões do clima. Para analisar se a área de estudo foi influenciada por esses fatores climáticos dinâmicos de larga escala, foi obtido os dados sobre a variabilidade mensal e anual de ocorrência e intensidade dos fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), e das médias de anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico, obtidos no site da agência de Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos (NOAA, 2018).

3.1.4 Mapeamento e regionalização das unidades climáticas

A delimitação das unidades climáticas no entorno de Unaí possui como premissa inicial que densidade de estações meteorológicas e pluviométricas é relativamente baixa dada a dimensão territorial da área de estudo e, por isso, a possível carência de recobrimento limitaria a representação das nuances climáticas nas diferentes localidades. Diante desse cenário, considerou-se que a generalização espacial propiciada pelas unidades climáticas possibilitaria compreender o quadro geral, a partir do conjunto de dados pluviotérmicos (pluviosidade, total de dias secos, temperaturas máxima, média compensada, mínima e amplitude térmica) e do BHC (ET_P, ET_r, DER, acumulado, diferença e total de meses de DEF e EXC, e os índices Ia, Ih e Im) disponíveis e suas relações com os controles de superfície, sobretudo a altitude e topografia regional, para definição de áreas climaticamente homogêneas.

Ao elaborar as cartas sínteses das unidades climáticas atentou-se por não obter somente uma unidade média a partir da justaposição dos demais componentes do ambiente, conforme a crítica realizada por Monteiro (1990). Buscou-se, portanto, delimitar as unidades ao utilizar como princípio a ideia de que as variáveis ambientais (climáticas, altitude e topografia) possuem alcance limitado pela homogeneidade de suas características e, por isso, sua abrangência pode ser espacialmente determinada pelo agrupamento das condições identificadas nas diferentes localidades analisadas.

A nomenclatura adotada para cada compartimentação climática levou em consideração seus contextos locacionais (altitude e topografia) e aspectos anuais dos dados pluviotérmicos e do BHC utilizados para diferenciar os espaços homogêneos.

A primeira etapa para definição das unidades climáticas foi analisar de que forma todos os dados climáticos utilizados estão correlacionados uns com os outros. Para isso, foram construídas matrizes de correlação pelo o Coeficiente de Pearson (GERARDI; SILVA, 1981), aonde estão representados os valores obtidos pela Fórmula 17 a intensidade de suas correlações.

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2)(\sum(y_i - \bar{y})^2)}} \qquad \text{Fórmula 17}$$

Em que,

x e y = variáveis da correlação; e

$\bar{x}$ e $\bar{y}$ = média das variáveis da correlação;

A determinação das unidades climáticas, a partir de estações meteorológicas e pluviotérmicas com dados quantitativamente homogêneos, foi feita pelo emprego do conjunto de técnicas estatísticas de Análises Multivariadas (BEZERRA, 2007), mais especificamente a

Análise Fatorial (AF) em Componentes Principais (CP) e Análise de Agrupamento (AA) no *software* PAST 3.20 (HAMMER et al.,2001).

A Análise de Componentes Principais (ACP) possui o objetivo de transformar *p* variáveis estatisticamente correlacionadas em *n* componentes não correlacionados. Essa técnica proporciona a diminuição da dimensão da matriz de dados e a maximização da variância através dos maiores autovalores (*eigenvalues*) da matriz de correlação. Desse modo, a ACP possibilita reduzir o total de variáveis originais em um número menor de componentes que possuem como característica serem independentes entre si (AMANAJÁS et al.,2010).

Com o intuito de facilitar a compreensão dos dados obtidos pela ACP foi realizada a rotação dos resultados iniciais pelo método de transformação linear Varimax (SOUZA et al.,2011), com a finalidade de aumentar a concentração dos dados originais da série temporal nas *n* CP's pela máxima variância dos dados (Fórmula 18).

$$\mathrm{Var} = \frac{\sum_{j=1}^{r}\left[m\sum_{i=1}^{m}\left(a_{ij}\right)^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} a_{ij}{}^2\right)^2\right]}{m^2} \qquad \text{Fórmula 18}$$

Em que,

Var= rotação Varimax;

r= total de componentes principais que representam os dados originais; e

m= número de variáveis.

A definição do total de CP's que conseguiriam resumir as variáveis originais baseou-se no critério de Kaiser, ao adotar como significativo as CP's com autovalores iguais ou superiores a 1 (BEZERRA, 2007).

A determinação da quantidade de unidades climáticas foi feita pela pelo uso da técnica de AA pelo método hierárquico de Ward e como medida de similaridade a Distância Euclidiana. Foram utilizados na AA os escores obtidos pela AF para cada estação meteorológica e pluviométrica (AOUAD, 1983).

Conforme explicam Silvestre et al. (2013, p. 31), no método de Ward "[...] a distância entre dois grupos é a soma de desvios ao quadrado dos pontos aos centróides. A atribuição de um elemento em um grupo é feita de modo a minimizar a soma de quadrados dentro dos grupos [...]" e visa homogeneizar os valores internos das classes e, ao mesmo tempo, obter a maior heterogeneidade possível entre os outros agrupamentos. A soma dos quadrados dos desvios de p indivíduos organizados em k grupos é definida na Fórmula 19:

$$SQD = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2 \qquad \text{Fórmula 19}$$

Em que,

n= total de elementos do agrupamento; e

x_i= enésimo elemento do agrupamento;

De acordo com Silvestre et al. (2013), a AA com emprego da Distância Euclidiana estabelece que a distância entre dois pontos no espaço (objetos i e k) é dada pela Fórmula 20:

$$d_{i,k} = \left[\sum_{j=1}^{p} (X_{i,j} - X_{k,m})^2\right]^{1/2} \qquad \text{Fórmula 20}$$

A definição da quantidade de classes pela técnica de AA é subjetiva, pois dependerá da análise do dendograma (representação gráfica de uma árvore de classificação) e no estabelecimento de uma linha de corte entre as ligações dos agrupamentos que objetive separá-los conforme a similaridade dos dados (SILVESTRE et al.,2013). Além da análise do dendograma, também foi utilizada a sugestão de Jácomo (2011), que propõe interpretar a curva do gráfico de Inércia Intra-grupos da AA e do conhecimento prévio da área de estudo.

3.1.5 Identificação dos sistemas climáticos e Análise Rítmica

Com o intuito de refinar o entendimento da variabilidade climática e sua vinculação com intensidade das classes de períodos-padrão e anos-padrão, buscou-se aprofundar a compreensão dos fatores dinâmicos do clima através da abordagem da atuação dos sistemas atmosféricos na contribuição da gênese pluvial na escala diária. Do conjunto dos 20 anos agrícolas que foram estudados nesse trabalho, serão detalhados somente os dois anos que apresentam as maiores disparidades históricas da produção de soja, ou seja, aqueles que apresentam características regionais de alta e baixa produtividade.

Para compreender como ocorre a dinâmica climática em escala diária nos dois anos selecionados foram utilizados os produtos dos satélites meteorológicos GOES 12 e 13, com as imagens que constam informações do canal do infravermelho próximo (canal 4) e/ou realçada para temperatura do topo da nuvem (DSA/CPTEC/INPE, 2018).

Foram definidos quatro períodos de observação: escolha de duas imagens de referência nos horários de 12h e 00h UTC, correspondentes, respectivamente, às 9h e 21h no horário de Brasília; as imagens das 06h e 18h (3h e 15h no horário de Brasília) foram utilizadas de modo auxiliar, com o objetivo de acompanhar de modo contínuo a circulação atmosférica e minimizar quaisquer dúvidas que possam ocorrer entre as imagens de referência. Através da visualização

rápida dessa sequência de imagens no computador (00h, 06h, 12h e 18h UTC) foi possível identificar e interpretar o deslocamento gradual e a atuação das massas de ar em grande parte da América do Sul e na parte ocidental do Oceano Atlântico, com principal destaque para o território brasileiro.

A definição horária das massas de ar (09h e 21h) foi realizada para nove localidades situadas nos transectos A-B (oeste para leste) e C-D (sul para norte). Tomou-se como referência as características e/ou variações quantitativas dos elementos climáticos aferidos pelas estações meteorológicas do INMET (temperaturas, pressão, direção do vento, umidade e pluviosidade) em consonância a interpretação das imagens do satélite GOES e análise das cartas sinóticas de superfície da Marinha (2018) e/ou de superfície e altitude do CPTEC (2019a).

A literatura específica das áreas de meteorologia e climatologia geográfica, relativas a atuação e abrangência sazonal e regional das massas de ar, e a análise e interpretação dos dados utilizados, possibilitaram definir os sistemas (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2009; BORSATO; 2016) e subsistemas (CPTEC, 2019b) atmosféricos na área de estudo (Quadro 3).

Quadro 3 - Sistemas e características dos subsistemas atmosféricos atuantes na área de estudo

Principais Sistemas Atmosféricos / **Subsistemas e suas Características**	**Massa Tropical Atlântica (mTa)**	**Massa Tropical Continental (mTc)**	**Massa Equatorial Continental (mEc)**	**Frente Polar Atlântica (FPA)**	**Massa Polar Atlântica (mPa)**
Instabilidade Atmosférica (I) *Nebulosidade ≥ 6 décimos*	mTa-I	mTc-I	mEc-I	-	-
Cavado Atmosférico (CV) *Circulação ciclônica mínima*	mTa-CV	mTc-CV	mEc-CV	-	-
Zona de Convergência (ZC) *Umidade de baixos e médios níveis*	mTa-ZC	mTc-ZC	mEc-ZC	-	-
Repercussão (R) *Prenúncio da FPA*	-	-	-	FPA-R	-
Estacionária (E) *FPA com pouco deslocamento diário*	-	-	-	FPA-E	-
Dissipação (D) *FPA em processo de frontólise*	-	-	-	FPA-D	-
Tropicalizada (T) *Descaracterização higrotérmica*	-	-	-	-	mPa-T

Fonte: adaptado de MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2009; BORSATO, 2016; CPTEC, 2019b. Elaborado pelo autor.

O Quadro 3 apresenta uma breve síntese dos sistemas atmosféricos e as características que propiciaram a distinções entre os subsistemas atmosféricos. Porém, algumas dessas características necessitam de algumas considerações mais detalhadas:

a) o emprego das siglas mEc, mTc e mTa, sem diferenciá-las em razão da ocorrência dos seus subsistemas, possui o objetivo de demonstrar a presença de relativa estabilidade

atmosférica através das características típicas dos atributos climáticos (temperatura, pressão, umidade, etc) de cada massa de ar. É importante destacar que a definição de episódios de Instabilidade Atmosférica (I) teve como critério o total de nebulosidade igual ou superior a seis décimos, com o intuito de identificar a intensificação da turbulência e do transporte vertical de energia e matéria pelo processo de convecção do ar;

b) como não estão disponíveis as cartas sinóticas do CPTEC (2019a) para datas anteriores a 01/09/2008 e as cartas da Marinha (2018) só começaram a representar graficamente a ocorrência das Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e do Atlântico Sul (ZCAS) em períodos mais recentes, foi necessário utilizar dados climáticos de reanálise NCEP/NCAR (ESRL/NOAA, 2019) e imagens dos satélites GOES para interpretar a ocorrência desses subsistemas atmosféricos a partir dos seguintes critérios: (1) presença de faixa de nebulosidade regional no sentido NW-SE por imagens de satélite na faixa do infravermelho; (2) ocorrência da Alta da Bolívia e do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (SEABRA et al. 2006); (3) análise da anomalia dos valores negativos médios de ômega (velocidade vertical dos ventos) nos níveis médios da troposfera com orientação NW-SE (SEABRA op. cit.); (4) presença de convergência dos ventos na baixa e média troposfera em consonância com divergência na alta troposfera (KODAMA, 1992); (5) identificação de baixos níveis de radiação de onda longa (ROL) na orientação NW-SE (KOUSKY, 1988). Para fins de nomenclatura e cômputo do índice de participação desse subsistema adotou-se somente a presença da Zona de Convergência (ZC), sem, contudo, diferenciar suas variações entre ZCOU e ZCAS pelos critérios sugeridos por Sacramento Neto et al. (2010);

c) a identificação dos subsistemas “CV” ou “ZC” (condições ciclônicas) nas áreas de mTa (condição anticiclônica) está relacionada ao contexto de organização dos sistemas atmosféricos na escala regional, por meio da interpretação das imagens de satélite e cartas sinóticas em consonância com as características de tempo climático aferidas em superfície (condições térmicas, barométricas, hígricas, direção dos ventos e pluviais) que indicam áreas limítrofes com condições típicas de transição de alta para baixa pressão;

d) a ocorrência da Frente Polar Atlântica Estacionária (FPA-E) se deu pelo pouco deslocamento desses subsistemas por mais de 24 horas consecutivas, estando graficamente destacada nas cartas sinóticas e constatadas nas imagens de satélite;

e) o subsistema “T” na mPa está atrelado ao processo de tropicalização dessa massa de ar, que ao trocar energia e matéria com a superfície em seu trajeto rumo às baixas latitudes proporciona a descaracterização das suas qualidades higrotérmicas originais (baixa temperatura e umidade).

O cômputo do índice de participação das massas de ar nas escalas anual, sazonal e mensal de cada estação do transecto A-B e C-D foram espacializados com o objetivo de analisar a abrangência espacial de suas influências. Para isso, foram segmentados os percentuais de participação através do cálculo da Média ($\bar{x}$) e do Desvio-padrão (σ) dos 18 índices locais (nove estações para dois anos) para cada período temporal e massa de ar, os quais foram representados linearmente pela atuação $\bar{x}$ e dos seus respectivos desvios positivo ($\bar{x}+\sigma$) e negativo ($\bar{x}-\sigma$).

A organização de todos os dados e informações quantitativas e qualitativas na escala diária de origem climática (temperatura, pressão, umidade, nebulosidade, pluviosidade, direção dos ventos e sistemas atmosféricos), do BHC (deficiência, retirada, reposição e excedente hídrico e capacidade de água disponível) e do NDVI (áreas de cultivo presentes nas diferentes unidades climáticas) possibilitaram a construção dos gráficos de Análise Rítmica (MONTEIRO, 1971) das nove localidades situadas nos transectos A-B e C-D para os anos de alta e baixa produtividade de soja (Apêndices B a S, p. 283-300). Essa técnica possibilitou individualizar a evolução temporal da participação diária das massas de ar e suas influências na gênese pluvial a partir da quantificação percentual (mensal, sazonal e anual) nas diferentes localidades, conforme foi aplicado por Tarifa e Monteiro (1972), Tarifa (1973) e Moraes et al. (1977).

Por fim, a análise conjunta dos gráficos de Análise Rítmica permitiu compreender como ocorre a integração escalar entre a hierarquia espacial (regional ao local) e temporal (diária no decorrer do ano agrícola) dos sistemas atmosféricos na variabilidade do ritmo climático, além de identificar suas influências positivas ou negativas nos diferentes estágios de desenvolvimento fenológico da planta de soja. Desse modo, foi possível correlacionar empiricamente a variabilidade contínua dos elementos pluviotérmicos em superfície nos resultados finais de ganho ou perda de produtividade nos dois anos selecionados.

3.2 PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DE SOJA

O IBGE (2018b) possui um sistema de banco de dados com informações da produção de variadas culturas agrícolas em âmbito nacional e sintetizados para diversos recortes territoriais (federação, macrorregião, unidade federativa, mesorregião e municípios) entre os anos de 1990 e 2018. A partir dessa fonte foi possível obter informações sobre o quantitativo de área plantada e o montante produzido nos anos agrícolas entre 1995/1996 e 2014/2015. Esses dados serviram de base no cálculo da produtividade agrícola de soja para os municípios e microrregiões, por meio da relação entre quantidade produzida (toneladas) e área plantada (hectare), e possibilitou a construção de gráficos com a evolução temporal da produção de soja.

A produtividade de soja varia no tempo devido à incorporação de novas técnicas, tecnologias, insumos e conhecimentos relacionados durante toda sua cadeia produtiva, que tendem a resultar numa maior produtividade agrícola. Tal situação influencia positivamente na obtenção de maiores rendimentos a cada safra, isso quando não existe a interferências negativas causada por fatores ambientais, como aquelas ligadas às adversidades climáticas.

Para analisar o quantitativo da produtividade agrícola sem a interferência da influência tecnológica, foi utilizada a técnica de regressão linear, a qual consiste no ajuste de uma reta a um conjunto de pontos. De acordo com Gerardi e Silva (1981), a Regressão Linear é um método baseado nos mínimos quadrados, buscando minimizar a soma dos quadrados das suas diferenças entre os valores observados e os valores correspondentes na linha de tendência, dada pelo modelo regressivo estabelecido pela Fórmula 21:

$$Y = mx + c \qquad \text{Fórmula 21}$$

Onde,

Y e x = variáveis anuais;

m e c = valores determinantes na inclinação da linha e o ponto no eixo x onde há intersecção da linha, em que:

$$m = \frac{\sum(x.y)}{\sum x^2} \text{ e } c = \frac{\sum(y)}{n} \qquad \text{Fórmula 22}$$

Onde,

n= número de observações

O cálculo de Regressão Linear permitiu ajustar os dados de produtividade pela retirada da influência da tendência tecnológica na produção (variedades, insumos, irrigação e mecanização) em cada ano agrícola entre 1994/1995 e 2014/2015 (Fórmula 23).

$$yci = (yi - (y(xi) - y(xo)) \qquad \text{Fórmula 23}$$

Onde:

yci= rendimento ajustado do ano i;

yi= rendimento original do ano i;

y (xi)= rendimento do ano i estimado por modelo de regressão linear;

y (xo)= rendimento do primeiro ano da série histórica de rendimento estimado pelo modelo de regressão.

Esta técnica possibilita que sejam computadas somente a variação da produtividade e sua relação com as variáveis ambientais, principalmente meteorológicas, conforme foi sugerido por Carmona e Berlato (2000, apud MARIANO et al.,2006), Santos (2005) e Silva (2013).

De posse destes dados de produtividade corrigidos, foi possível analisar a produtividade ajustada da soja sem o incremento da tecnologia, possibilitando obter um novo olhar sobre a influência ambiental nas variações da produtividade da soja. Após esta etapa, foram determinados a média e o Desvio-padrão (σ) de cada município, com o intuito de verificar a dispersão dos dados e identificar padrões ligados à variabilidade temporal da produtividade. Foi adotado o valor de 0,5σ para diferenciar a intensidade da produtividade dos anos agrícolas de acordo um índice formado por sete classes, a partir da adaptação da metodologia aplicada por Silva (2013), como pode ser exemplificado na Tabela 6.

Tabela 6 - Índice de produtividade de acordo com o Desvio-padrão em relação à média.

Classes de Produtividade agrícola	Desvio-padrão (σ)
Muito alta	> 1,5
Alta	> 1,0 e < 1,5
Média alta	> 0,5 e < 1,0
Média	> -0,5 e < 0,5
Média baixa	> -1,0 e < -0,5
Baixa	> -1,5 e < -1,0
Muito baixa	< 1,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados referentes à retirada da tendência tecnológica nos dados de produtividade de soja por município serviram de base para a elaboração de gráficos e mapas que visam correlacioná-los aos índices de produtividade. Desse modo, foi possível verificar a variação temporal da produtividade entre 1995/1996 e 2014/2015.

Os indicativos dos resultados de produtividade foram aproveitados para determinar em quais safras agrícolas seriam utilizadas os produtos obtidos pelos sensores orbitais MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) Terra (USGS, 2019). O emprego desses dados orbitais foi feito através do uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* ou NDVI) do produto MOD13Q1, com o intuito de espacializar as áreas de cultivo de soja e acompanhar o crescimento fenológico e a saúde da planta pelo comportamento da resposta das curvas espectrais.

A identificação das áreas de plantio para análise temporal das curvas espectrais de NDVI utilizou uma adaptação da técnica do índice de vegetação CEI (*Crop Enhancement Index*) aplicado por Rizzi (2005) e Rizzi et al. (2009), que consiste no emprego dos valores de mínimo (entressafra de 29/08 a 17/11) e máximo (safra de 03/12 a 18/02) dos *pixels* das imagens NDVI do satélite MODIS/Terra. O cálculo do CEI é dado pela Fórmula 24.

$$\mathrm{CEI} = \mathrm{G} * \frac{(\mathrm{MaxNDVI} + \mathrm{S}) - (\mathrm{MinNDVI} + \mathrm{S})}{(\mathrm{MaxNDVI} + \mathrm{S}) + (\mathrm{MinNDVI} + \mathrm{S})} \qquad \text{Fórmula 24}$$

Onde:

CEI = *Crop Enhancement Index*;

G = fator de ganho (10^2);

MaxNDVI = valor máximo de NDVI observado no período de máximo desenvolvimento da cultura (período de 25/11 a 18/02);

MinNDVI = valor mínimo de NDVI observado no período de pré-plantio e/ou emergência (período de 03/12 a 18/02);

S = coeficiente de realce (10^2)

Antes de aplicar a técnica de CEI foi realizada nas 23 imagens de NDVI a exclusão de *pixels* classificados como "impuros" ou "estimados" em razão da impossibilidade do sensor em detectar os alvos em superfície (nuvens) ou por serem de baixa qualidade (DIDAN et al.,2015).

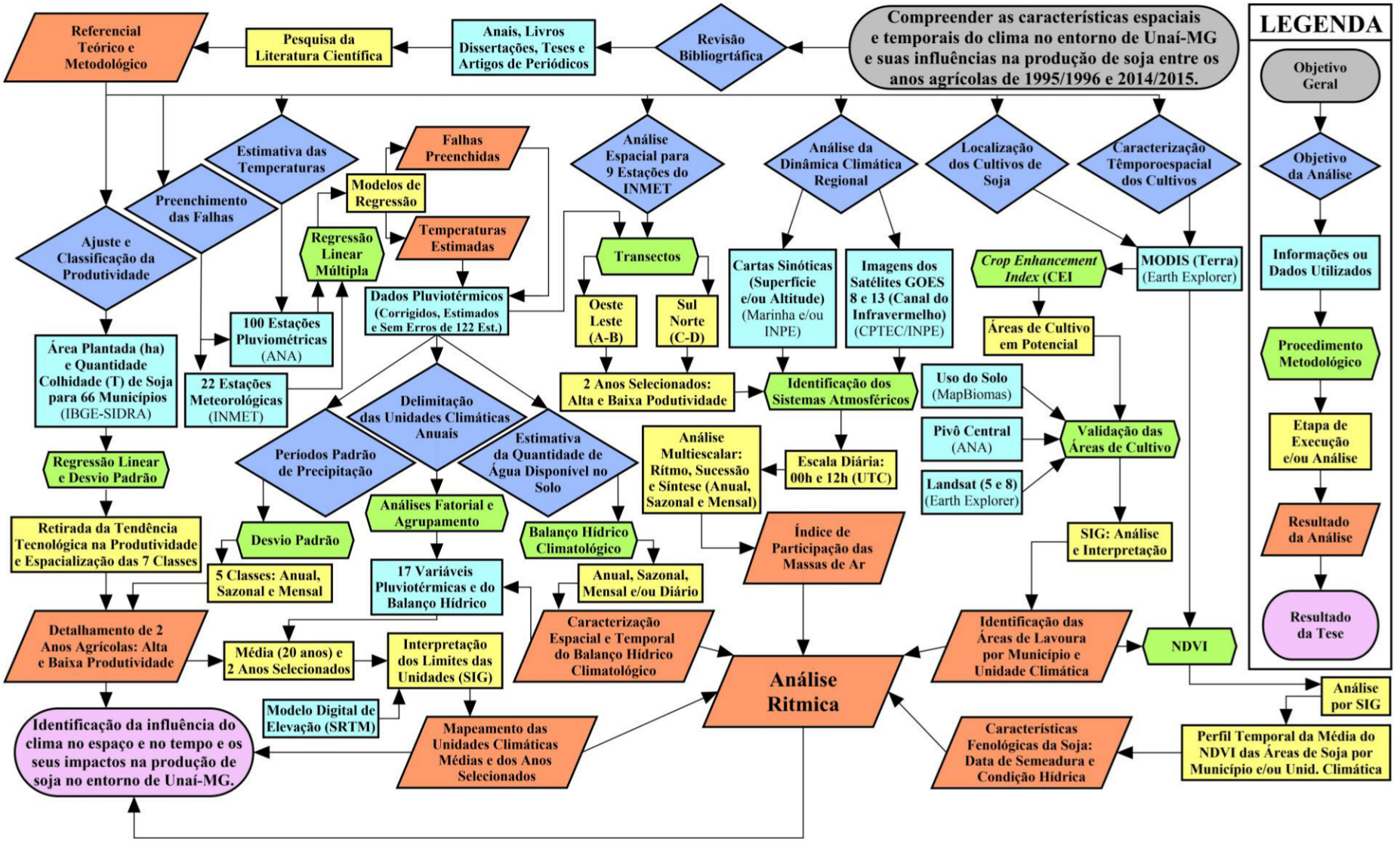
Os resultados obtidos automaticamente pela técnica CEI, com identificação dos *pixels* nas imagens como potenciais áreas de plantio de soja, necessitaram passar pelo processo de validação para serem posteriormente utilizados nas demais análises do NDVI. Somente foram consideradas como áreas de cultivo os *pixels* que passaram pelos seguintes processos: (a) interseção espacial em relação as áreas de cultivo definidas pelo projeto MapBiomas (2019); (b) sobreposição com as áreas de irrigação por pivô central (ANA, 2019); e, por fim, (c) interpretação visual das imagens Landsat 5 ou 8 (USGS, 2018) pelos critérios de cor, forma e textura dos alvos em superfície em relação às áreas nitidamente destinadas à agricultura durante o período de plantio da soja.

Ao determinar quais *pixels* pertencem as áreas de plantio de soja foi possível acompanhar onde e quando as variações médias do NDVI por município podem ter sido influenciadas pela variabilidade do ritmo pluvial. Essa relação pode ser verificada pelos impactos positivos (pleno desenvolvimento) ou negativos (*stress* hídrico) nos estágios fenológicos das plantas de soja, além de possibilitar correlacioná-los a quais unidades climáticas possuem condições mais ou menos propícias para os cultivos.

A análise integrada dos dados climáticos das estações meteorológicas e pluviométricas (ANA; 2018; INMET, 2018a), o emprego da técnica de Análise Rítmica (MONTEIRO, 1971), as informações de produção agrícola com retirada da tendência tecnológica do IBGE (2018) e a delimitação e monitoramento dos valores médios de NDVI dos cultivos nas respectivas unidades climáticas (RIZZI, 2005; RIZZI et al.,2009), subsidiaram a compreensão mais detalhada da dinâmica climática na área de estudo bem como dos fatores que influenciam na produtividade da soja nos municípios produtores no entorno de Unaí-MG.

A síntese dos dados utilizados nesse estudo, suas respectivas metodologias e resultados parciais e finais estão representados na Figura 25, que exibe o fluxograma com as etapas de desenvolvimento da tese.

Figura 25 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento da tese.

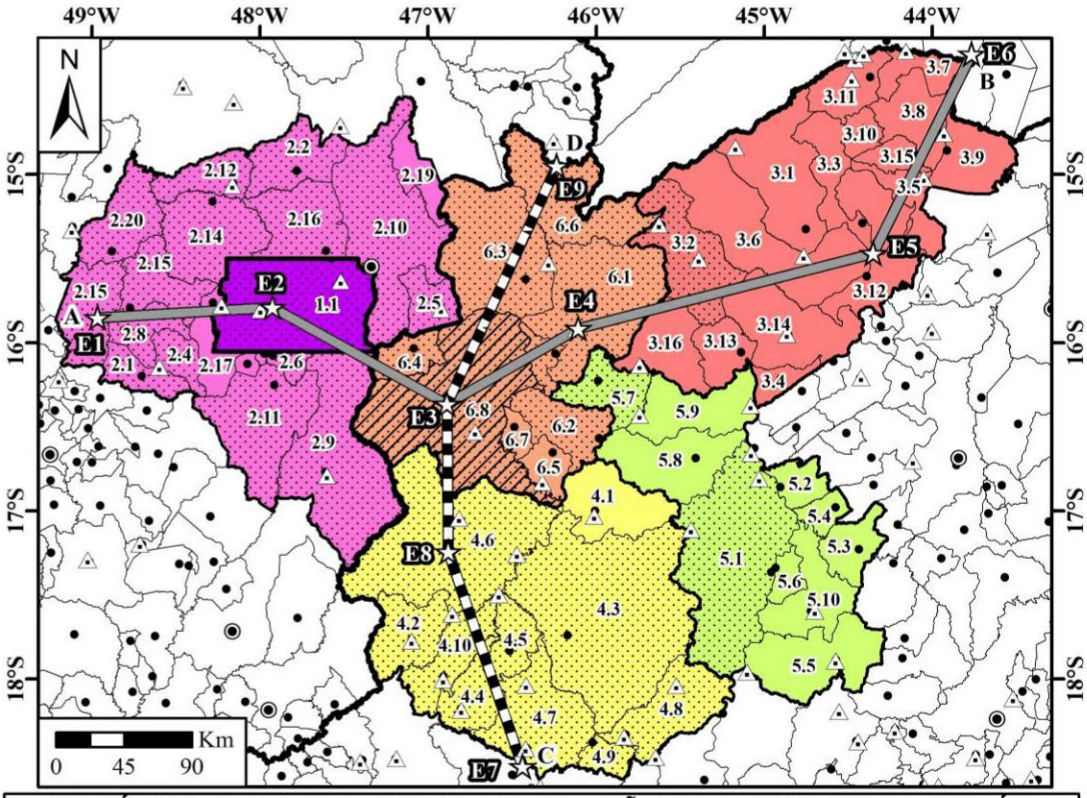


Fonte: Elaborado pelo autor.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se entre os Estados de Goiás, Minas Gerais e o território do Distrito Federal, abrangendo 162.540 km² em seis microrregiões e 66 municípios (Figura 26).

Figura 26 - Mapa de localização da área de estudo.



MUNICÍPIOS SITUADOS NAS MICRORREGIÕES DO ENTORNO DE UNAÍ-MG

1.1 Brasíllia	2.17 Santo Antônio do Descoberto	3.14 São Francisco	5.5 Lassance
2.1 Abadiânia	2.18 Valparaíso de Goiás	3.15 São João das Missões	5.6 Pirapora
2.2 Água Fria de Goiás	2.19 Vila Boa	3.16 Urucuia	5.7 Riachinho
2.3 Águas Lindas de Goiás	2.20 Vila Propício	4.1 Brasilândia de Minas	5.8 Santa Fé de Minas
2.4 Alexânia	3.1 Bonito de Minas	4.2 Guarda-mor	5.9 São Romão
2.5 Cabeceiras	3.2 Chapada Gaúcha	4.3 João Pinheiro	5.10 Várzea da Palma
2.6 Cidade Ocidental	3.3 Cônego Marinho	4.4 Lagamar	6.1 Arinos
2.7 Cocalzinho de Goiás	3.4 Icarari de Minas	4.5 Lagoa Grande	6.2 Bonfinópolis de Minas
2.8 Corumbá de Goiás	3.5 Itacarambi	4.6 Paracatu	6.3 Buritis
2.9 Cristalina	3.6 Januária	4.7 Presidente Olegário	6.4 Cabeceira Grande
2.10 Formosa	3.7 Juvenília	4.8 São Gonçalo do Abaeté	6.5 Dom Bosco
2.11 Luziânia	3.8 Manga	4.9 Varjão de Minas	6.6 Formoso
2.12 Mimoso de Goiás	3.9 Matias Cardoso	4.10 Vazante	6.7 Natalândia
2.13 Novo Gama	3.10 Miravânia	5.1 Buritizeiro	6.8 Unaí
2.14 Padre Bernardo	3.11 Montalvânia	5.2 Ibiaí	6.9 Uruana de Minas
2.15 Pirenópolis	3.12 Pedras de Maria da Cruz	5.3 Jequitaí	
2.16 Planaltina	3.13 Pintópolis	5.4 Lagoa do Patos	

Coord.: Geográficas
Datum: SIRGAS 2000

Divisa Estadual
Microrregiões do IBGE
1. Brasília
2. Entorno de Brasília
3. Januária
4. Paracatu
5. Pirapora
6. Unaí
Limites Municipais
Unaí-MG
Mun. Produtores de Soja
Sedes Municipais
Estações da ANA
Estações do INMET
Estações Transectos
Transecto
A-B (Oeste/Leste)
C-D (Sul/Norte)

Fonte: adaptado de IBGE, 2017. Elaborado pelo autor.

A altitude regional varia entre 1.372 e 434 metros (USGS, 2018), situados, respectivamente, nas microrregiões do Entorno de Brasília (porção norte do planalto central brasileiro) e de Januária (extremo nordeste, no vale do Rio São Francisco). As características topográficas e geomorfológicas das microrregiões analisadas proporcionam a presença do alto curso de três importantes bacias hidrográficas do país: São Francisco à leste, Paraná à sudoeste e Araguaia-Tocantins à noroeste (Figura 27).

Ab'saber (2003) explica que a extensão territorial da área analisada é fruto de um arranjo complexo de elementos geográficos em suas múltiplas características que devem ser entendidas inicialmente pelo seu quadro físico. O autor expõe de forma sintética que as estruturas geológicas são compostas por rochas cristalinas e sedimentares que embasam feições geomorfológicas que apresentam as maiores altitudes no quadrante oeste e compõem um variado conjunto de paisagens que englobam planaltos, serras, patamares e chapadas típicos da região do Brasil Central. Essas feições são recortadas por áreas topograficamente deprimidas que constituem compartimentações típicas de terraços e planícies fluviais de menor altitude, com maior destaque para depressão relativa formada pela bacia hidrográfica do Rio São Francisco no quadrante centro-leste.

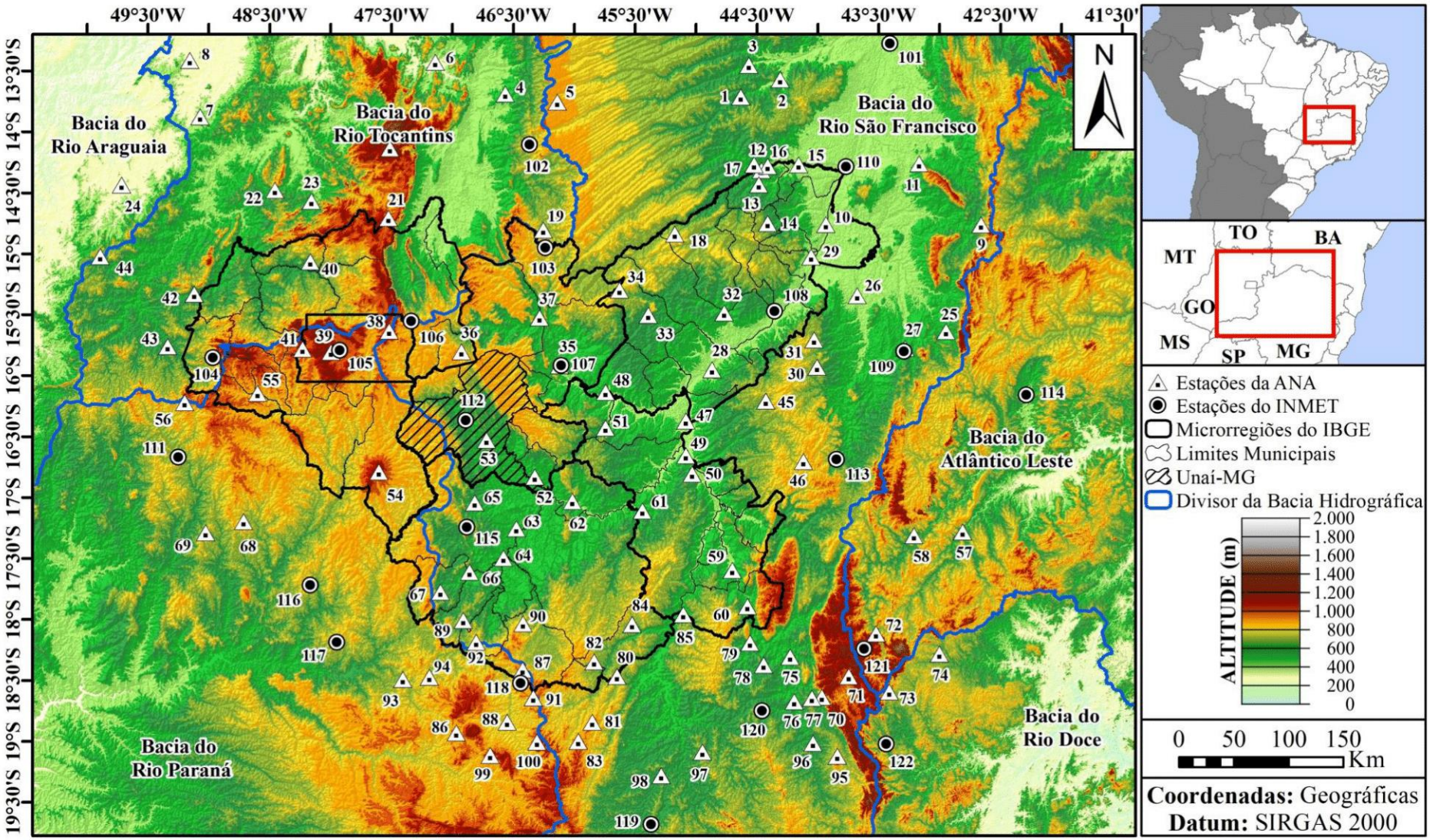
Ao analisar o mapeamento da Compartimentação Geomorfológicas do Brasil (IBGE, 2006) para o entorno de Unaí (Figura 28 e Quadro 4) verifica-se que as Chapadas (17,6%), Serras (1,6%), Planaltos (27,0%) e Patamares (22,0%) constituem a maioria das unidades de relevo (68,2%), enquanto as feições de Depressão (24,1%) e Planície (7,7%) totalizam 31,8%.

Quadro 4 - Compartimentação geomorfológica no entorno de Unaí-MG.

Domínio	Região	Unidade	Área	
			(km²)	(%)
I - Depósitos Sedimentares Quaternários	B. Interioranos	Planície do Rio São Francisco	12.539,5	7,7
II- Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas	E. Rio São Francisco	Chapadas do Rio São Francisco	28.551,7	17,6
III- Cinturões Móveis Neoproterozóicos	C. Brasil Central	Depressão Intermontana de Ceres	3.630,2	2,1
		Planalto Central Brasileiro	21.722,4	13,5
		Planalto de Goiânia	16,9	0,0
		Planalto do Distrito Federal	22.007,0	13,5
	D. Sudeste/Sul	Serras do Espinhaço Meridional	751,1	0,5
IV- Crátons Neoproterozóicos	C. Nordeste/Sudeste	Depressão do Alto-Médio Rio São Francisco	33.253,7	20,5
	C. Nordeste/Sudeste	Patamares dos Rios São Francisco/Tocantins	35.743,8	22,0
	C. Nordeste/Sudeste	Serra da Saudade	1.734,8	1,1
	C. Nordeste/Sudeste	Vão do Paranã	2.407,6	1,5
-	-	Massa D'água Continental	167,1	0,1
		Total	162.526	100,0

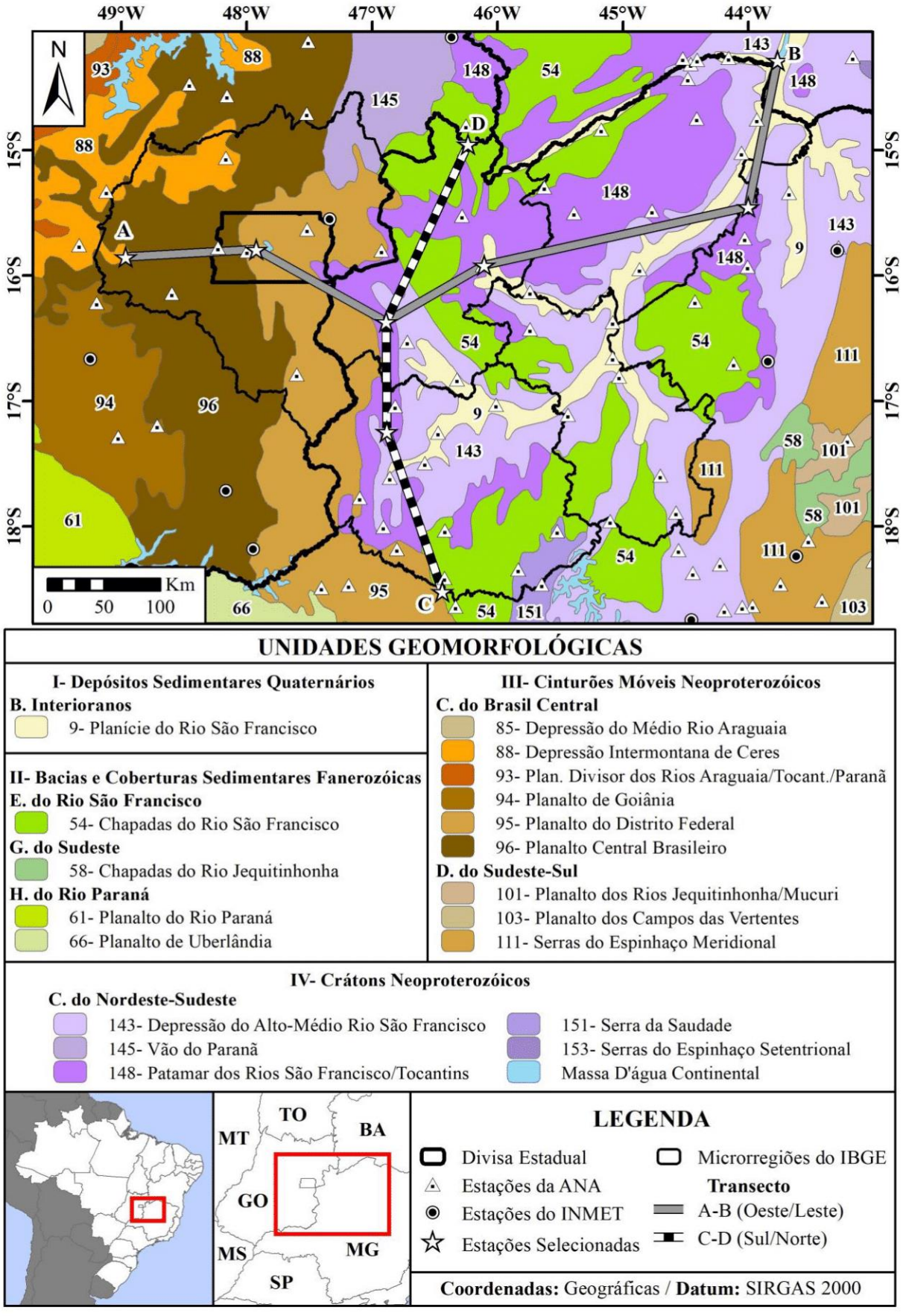
Fonte: adaptado de IBGE, 2006. Elaborado pelo autor.

Figura 27 - Mapa altimétrico, limites das bacias hidrográficas e distribuição espacial das estações da ANA e INMET no entorno de Unaí-MG.



Fonte: ANA, 2018; INMET, 2018a; USGS, 2018. Elaborado pelo autor.

Figura 28 - Mapa geomorfológico no entorno de Unaí-MG.



Fonte: Adaptado de IBGE, 2006. Elaborado pelo autor.

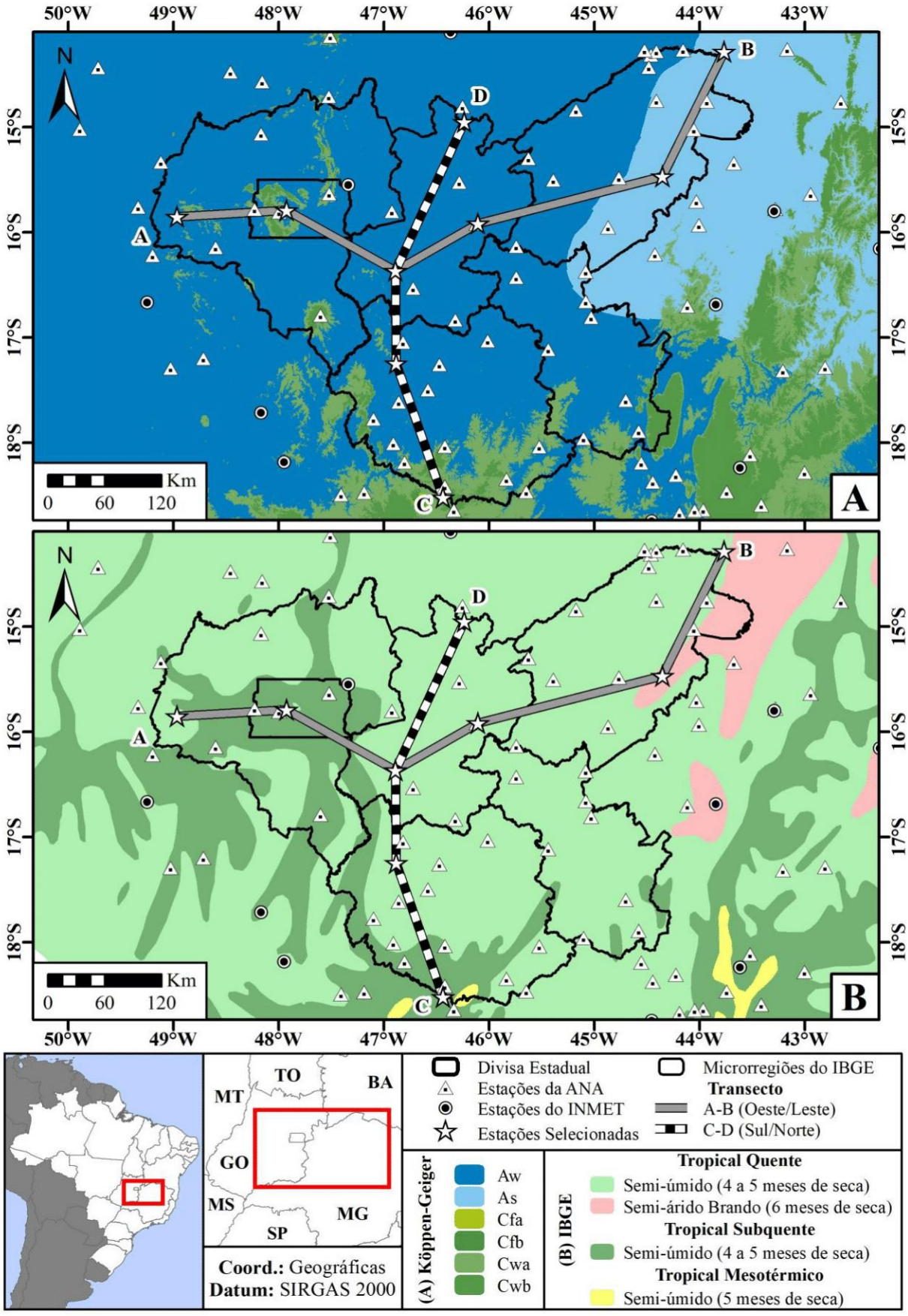
Para o IBGE (2006), a organização fitogeográfica nas microrregiões possui o predomínio de ocorrências de formações savânicas típicas do Cerrado brasileiro em suas variadas fitofisionomias. A predominância dessas formações vegetais incorpora a presença de mosaicos de formações oriundas da Caatinga nas porções norte e nordeste, devido as características pluviotérmicas dessas áreas serem de transição para o clima do semiárido brasileiro.

O clima regional foi analisado a *priori* a partir de duas classificações climáticas para a o entorno de Unaí (Figura 29). Para a classificação de Köppen-Geiger (ALVARES et al.,2013) a área de estudo é predominantemente (79,5%) composta pelo tipo climático Aw (Tropical com Inverno Seco), seguida pelas classes As (Tropical com Verão Seco) no porção leste (10,5%) e seguido por Cwa (Subtropical Úmido com Inverno Seco e Verão Quente) e Cwb (Subtropical Úmido com Inverno Seco e Verão Temperado) nas áreas mais elevadas (7,7% e 2,3%, respectivamente). Já o IBGE (2002), ao adaptar a proposta de regionalização climática preconizada por Nimer (1989), caracteriza as condições climáticas da área de estudo como zona Tropical do Brasil Central, com regime de pluviosidade sazonal bem definido (chuvoso e estiagem) que contempla três subunidades climáticas: (1) à oeste e sul são classificados como Subquente (média entre 15ºC e 18°C em pelo menos 1 mês) e Semiúmido (4 a 5 meses secos); (2) as porções norte, central e leste são categorizados como Quente (média superior a 18°C em todos os meses) e Semiúmido (4 a 5 meses secos); e (3) no nordeste da microrregião de Januária é termicamente classificado como Quente e com regime pluvial característico da região Semiárida (6 meses secos ou mais).

Nimer (1989) aponta que o período relativo aos maiores totais pluviométricos ocorre ao longo da primavera/verão, em contraposição ao período de estiagem, que começa no outono e intensifica-se no inverno. As menores médias de temperatura do ar ocorrem entre os meses de maio e julho (20ºC a 22ºC), aumentando gradativamente sua intensidade a partir do final do período de estiagem (setembro e outubro correspondem aos meses mais quentes e com menor umidade relativa do ar) até culminar na primavera/verão, quando as temperaturas alcançam médias mensais entre 22ºC e 26ºC.

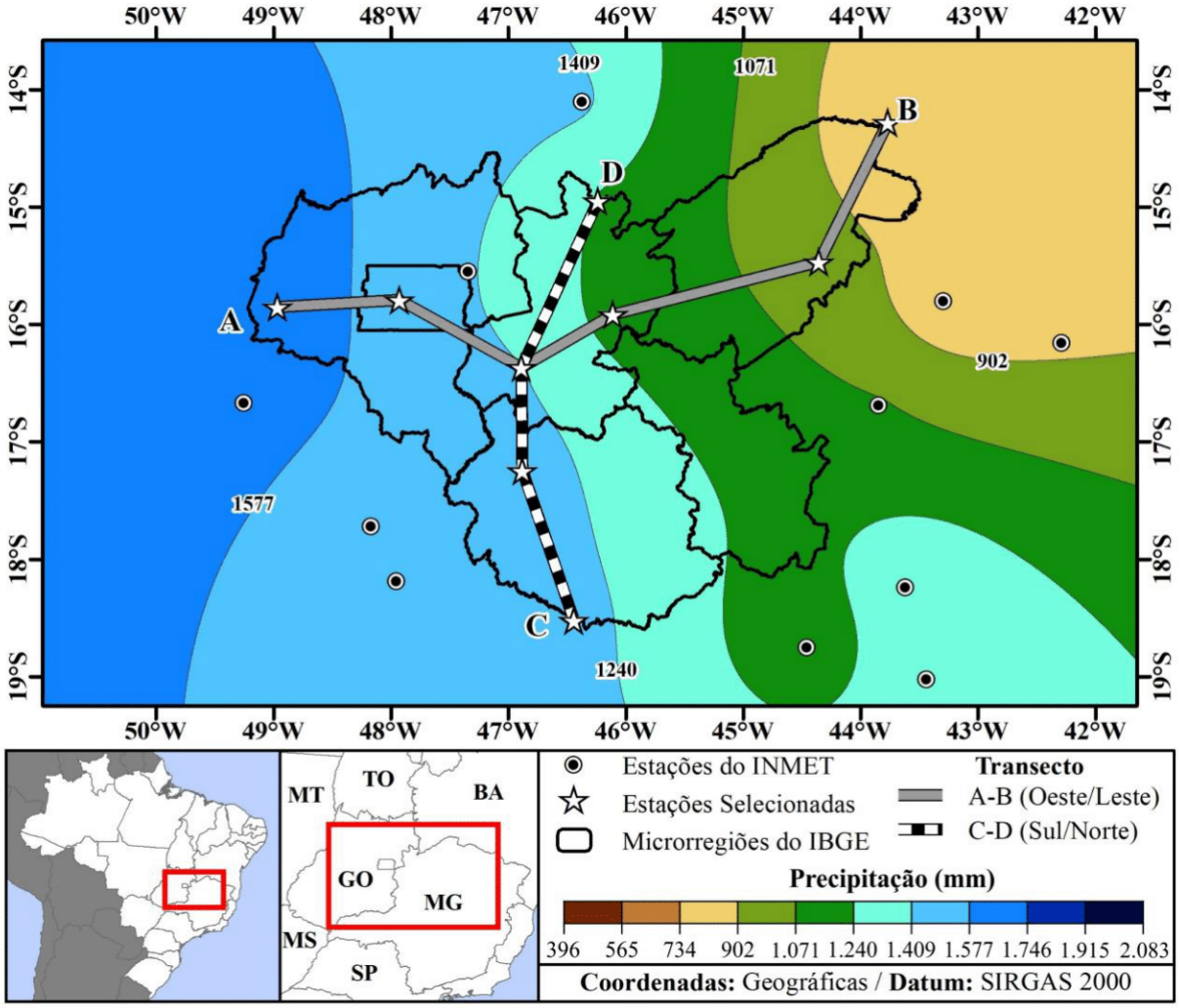
De acordo com Normais Climatológicas Provisórias entre 1981 e 2010 (INMET, 2018b), a média anual de pluviosidade corresponde a totais que variam entre 1.725,9mm (Est. 104, E1-Pirenópolis) e 757,6 mm (Est. 110, E6-Carinhanha). A configuração espacial da distribuição média anual das chuvas indica a presença de um gradiente pluviométrico com amplitude de 968,3mm (Figura 30), formado entre o quadrante oeste da microrregião do Entorno de Brasília (mais chuvoso e com maior altitude) e a porção nordeste da microrregião de Januária (mais seco e com menor altitude).

Figura 29 - Tipologias climáticas no entorno de Unaí-MG.



Fonte: adaptado de (A) Alvares et al.,2013; e (B) IBGE, 2002. Elaborado pelo autor.

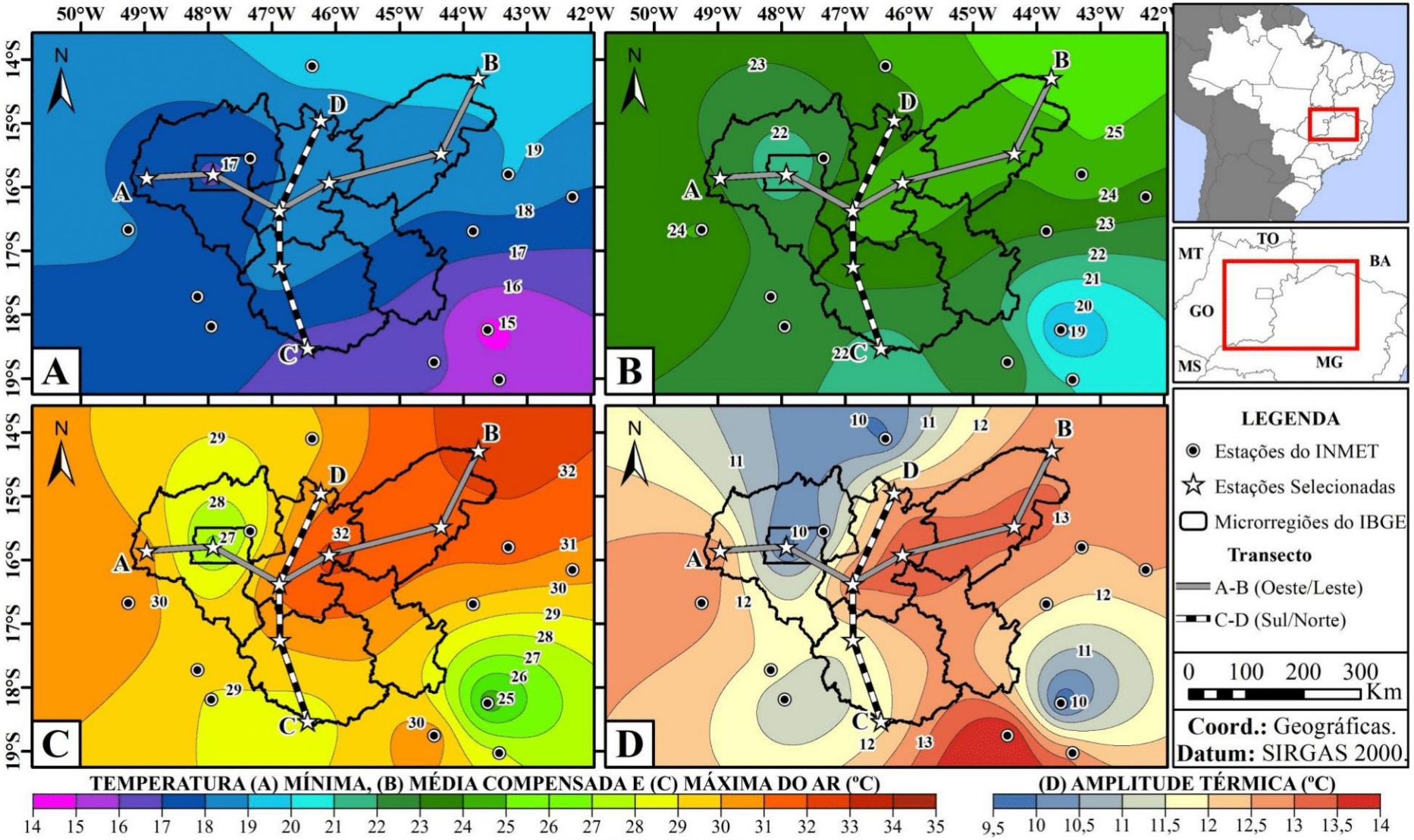
Figura 30 - Média da precipitação anual no entorno de Unaí-MG: Normais Climatológicas Provisórias (1981/2010).



Fonte: INMET, 2018b. Elaborado pelo autor.

Ao analisar a variabilidade espacial das médias anuais das temperaturas mínima, média compensada e máxima do ar (Figura 31), verificou-se a ocorrência de um padrão semelhante a distribuição da pluviosidade entre as porções oeste (mais fria) e leste (mais quente). Nessas variáveis percebe-se a forte influência do relevo (Figura 27, p. 87) nas características térmicas, com destaque às áreas mais elevadas do planalto central brasileiro, situadas nas microrregiões de Brasília e do Entorno de Brasília, que apresentaram as temperaturas mais baixas nas três variáveis analisadas. Em oposição, nota-se nitidamente o gradiente térmico crescente formado pelo transecto A-B entre as áreas de maior altitude e as localidades situadas na depressão da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, comportando inclusive as maiores amplitudes térmicas das microrregiões, na ordem de 13ºC a 13,5ºC anuais.

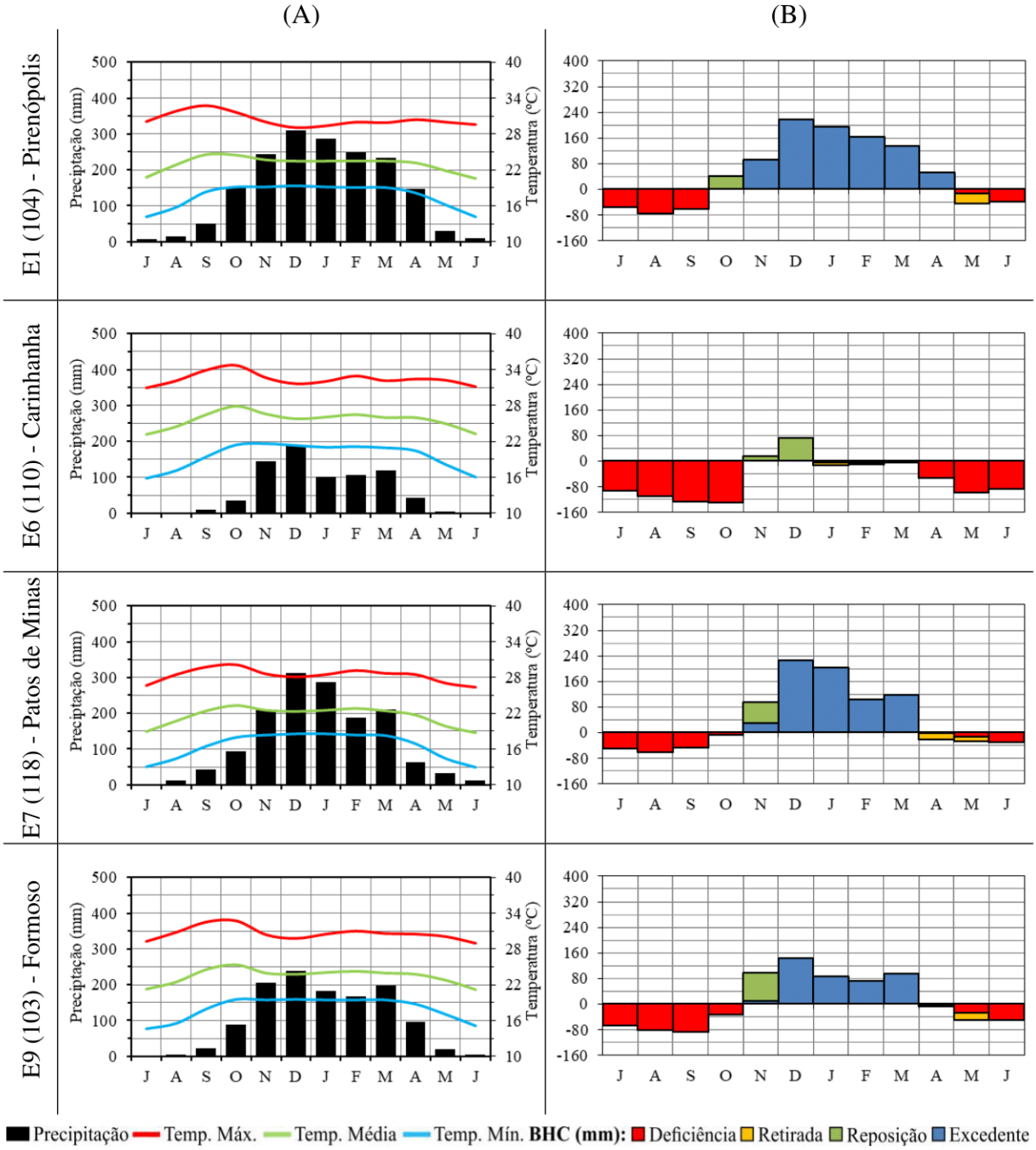
Figura 31 - Médias anuais das Temperaturas do ar (A) Mínima, (B) Média Compensada, (C) Máxima e (D) Amplitude: Normais Provisórias.



Fonte: INMET, 2018b. Elaborado pelo autor.

Ao decompor os dados anuais de pluviosidade (Figura 30) e temperatura (Figura 31) na escala mensal para as estações meteorológicas 104/110 (E1-Pirenópolis/E6-Carinhanha) e 118/103 (E7-Patos de Minas/E9-Formoso), situadas nos extremos dos transectos A-B (Oeste/ Leste) e C-D (Sul/Norte), é possível constatar como ocorre a variabilidade temporal média do regime pluviotérmico (Climograma) e da água armazenado no solo (Balanço Hídrico Climatológico [BHC]) em diferentes localidades nos limites da área de estudo (Figura 32).

Figura 32 - (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico das Normais Climatológicas Provisórias (1981/2010) para as estações situadas nos transectos A-B (Oeste/Leste) e C-D (Sul/Norte).



Fonte: adaptado de INMET, 2018b. Elaborado pelo autor.

Os climogramas (Figura 32A) demonstram que a média mensal com maior volume pluviométrico ocorre em dezembro para todas as localidades e os menores quantitativos situam-se nos meses de junho a agosto nos extremos norte, sul e oeste, e de maio a setembro no limite leste. As maiores temperaturas ocorrem entre setembro e outubro e as menores em junho e julho, além de apresentar gradiente crescente de sul para norte e de oeste para leste.

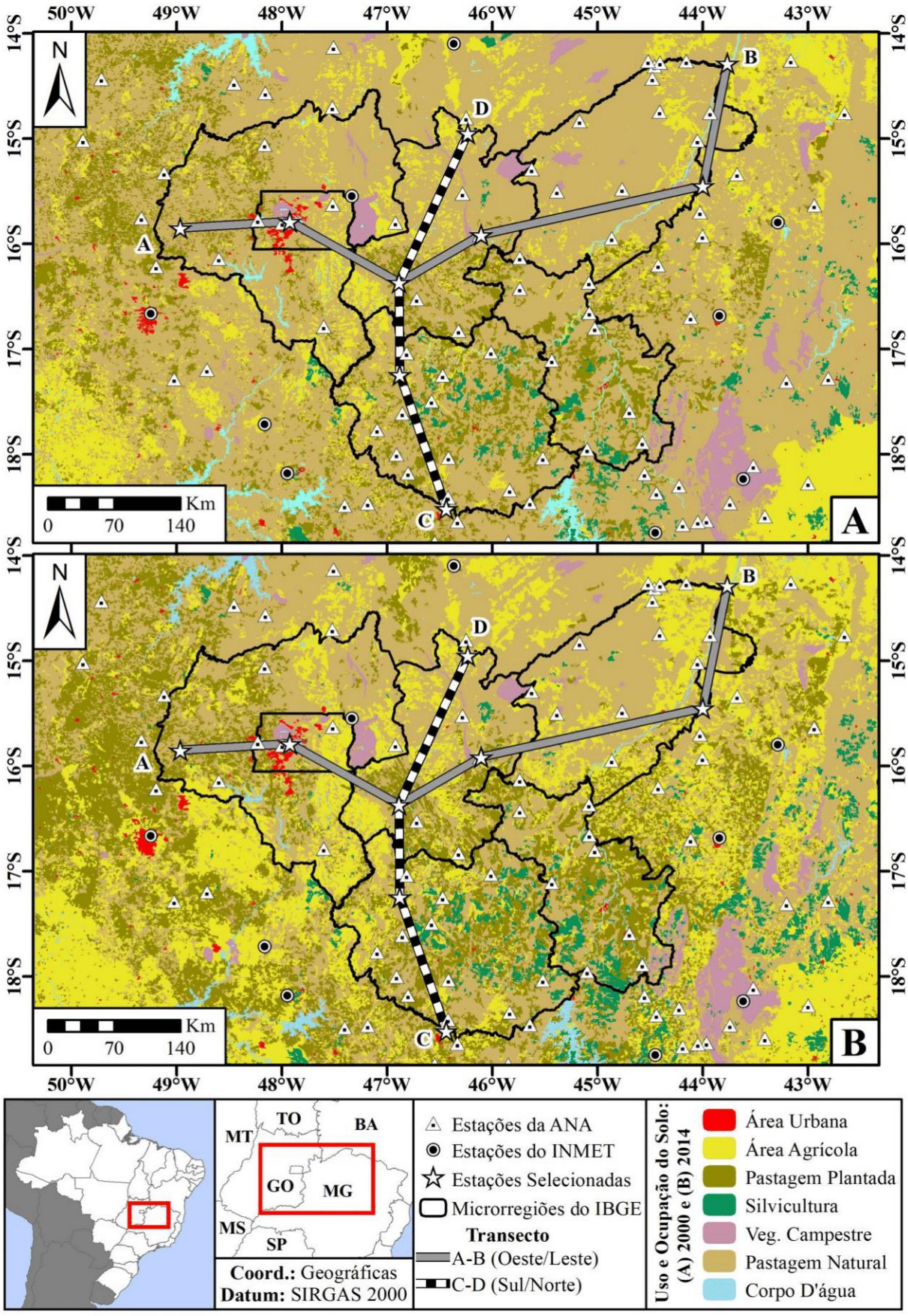
O total pluviométrico mensal e os gradientes térmicos entre as estações apontam importantes diferenças do BHC (Figura 32B). Em todas as estações meteorológicas é possível identificar a duração e a intensidade do período de seca pela presença de meses com Deficiência Hídrica (DEF), fruto, principalmente, da baixa ou total ausência de pluviosidade em razão do maior poder de penetração e atuação dos sistemas tropicais estáveis (Massa Tropical Atlântica [mTa] e da Massa Tropical Continental [mTc]) e extratropicais tropicalizados ou em vias de tropicalização (Massa Polar Atlântica [mPa] e dos Sistemas Frontais [SF]) nas regiões interioranas do país. Já o período chuvoso é caracterizado por volumes pluviométricos mensais mais expressivos, que possibilitam a reposição de água no solo e superam a perda de água para atmosfera pelos processos de evaporação e evapotranspiração. Os maiores quantitativos pluviais possuem sua gênese regional vinculada: (a) ao maior transporte de umidade da região amazônica rumo a porção central do Brasil, através da atuação da Massa Equatorial Continental (mEc) e dos Jatos de Baixos Níveis (JBN); (b) ao constante avanço da mPa e dos SF que favorecem a chuva frontal, além de possibilitarem a organização e formação da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Ao observar os gráficos da Figura 32B do transecto A-B, nota-se acentuado contraste do BHC entre as localidades analisadas, com os maiores volumes e ocorrências de Excedente Hídrico (EXC) na Estação E1-Pirenópolis (novembro a abril), opondo-se à Estação E6-Carinhanha que apresenta DEF em dez meses e onde inexiste EXC. No transecto C-D há semelhanças na duração do período de seca e chuvoso entre as estações e diferenças menos desproporcionais em duração e intensidade do que as encontradas no transecto A-B, fruto das maiores temperaturas e redução das pluviosidades mensais da Estação E9-Fomoso em relação à Estação E7-Paracatu resultarem em menores volumes de EXC ao longo do ano.

As características médias elencados representam, a *priori*, parte do antagonismo climático regional. Porém, essas diferenças necessitam ser melhor compreendidas a partir da variabilidade dos mecanismos estáticos e dinâmicos do clima em anos selecionados, que proporcionarão a decomposição espacial e temporal da manifestação dos seus elementos.

A evolução do uso e ocupação do solo nas microrregiões entre 2000 e 2014 apresenta rápida e profunda transformação das atividades desenvolvidas no manejo do espaço (Figura 33)

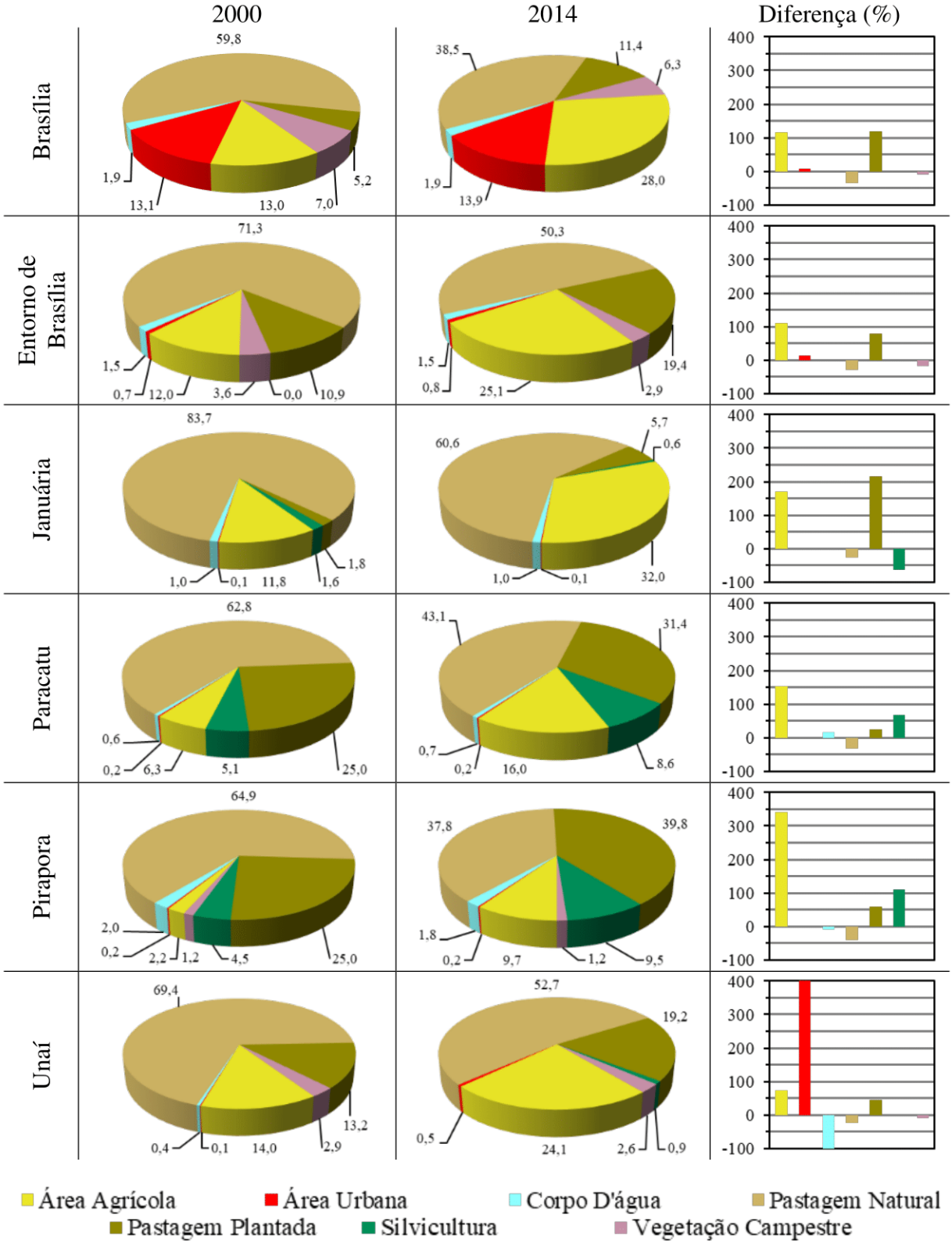
Figura 33 - Uso e ocupação do solo no entorno de Unaí-MG: (A) 2000 e (B) 2014.



Fonte: adaptado de IBGE, 2018a. Elaborado pelo autor.

Ao analisar a transformação das classes de uso e ocupação do solo (Figura 34) constatou-se que as áreas de vegetação campestre e pastos naturais foram reduzidas em -30% e -14%, cedendo lugar a expansão da agricultura (130%), silvicultura (68%) e pecuária (53%).

Figura 34 - Dinâmica de alteração do uso e ocupação do solo nas microrregiões analisadas.



Fonte: adaptado de IBGE, 2018a. Elaborado pelo autor

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO ANUAL DOS DADOS CLIMÁTICOS

O preenchimento de falhas e estimativas das médias mensais dos dados térmicos (mínima, média compensada e máxima) e de precipitação das estações do INMET e/ou ANA (1995/1996 e 2014/2015) foram uma etapa crucial na elaboração do trabalho, pois essas variáveis possibilitaram compreender a variabilidade do regime temporal e a média histórica.

A análise de validação e consistência dos dados de temperatura demonstrou que todas as estações meteorológicas necessitaram realizar algum tipo de preenchimento de falhas dos dados mensais. Ao observar as informações contidas nos Quadros 5 a 7 constata-se que o uso da técnica de preenchimento dos dados foi aplicado de modo pontual, em virtude do total de dados mensais que necessitaram ser preenchidos ser considerado baixo: 2,0% para temperatura mínima, 3,8% para temperatura média compensada e 3,6% para temperatura máxima, no universo de 5.280 meses para cada variável (22 estações nos 20 anos analisados).

Os anos de 1998/1999 (21 falhas) e 2001/2002 (14 falhas) apresentaram a maior quantidade de falhas mensais de temperatura mínima, que somaram 32,7% dos erros ao longo dos 20 anos. Os meses julho (13 falhas), agosto (13 falhas), setembro (23 falhas) e outubro (14 falhas) corresponderam a maior concentração de falhas para essa variável (58,9% do total).

A temperatura média compensada apresentou maior quantidade de falhas nos anos de 1995/1996, 1998/1999, 2013/2014 e 2014/2015, correspondendo, respectivamente, a 19, 22, 19 e 16 meses com erros (38,3% do total). 46% do total de falhas encontradas ficaram concentradas nos meses de julho (23 falhas), agosto (20 falhas), setembro (28 falhas) e outubro (20 falhas).

Por fim, 32,6% do total de falhas presentes na variável de temperatura máxima ficaram agrupadas nos anos de 1998/1999 (26 falhas), 2013/2014 (19 falhas) e 2014/2015 (17 falhas). Assim como ocorreu nas variáveis de temperaturas mínima e média compensada, as falhas mensais estiveram majoritariamente situadas nos meses de julho (26 falhas), agosto (20 falhas), setembro (30 falhas) e outubro (21 falhas) que totalizaram 51,1% do total de meses com erro.

Ao analisar a quantidade meses com falhas nos dados de precipitação (Quadro 8) verificou-se que 39 estações apresentaram a série histórica completa e 83 estações necessitaram passar por variados graus de preenchimento, totalizando 358 meses preenchidos ou 1,2% dos 29.280 meses (122 estações ao longo de 20 anos). Os anos agrícolas que apresentaram a maior quantidade de falhas nos dados de precipitação estiveram concentrados, principalmente, entre 2006/2007 e 2014/2015 (245 meses ou 68,4% do total). Os meses que mais concentraram falhas foram julho (35 falhas), setembro (40 falhas) e outubro (49 falhas) com 34,5% do total.

Quadro 5 - Total de falhas nos dados de Temperatura Mínima das 22 estações.

Ano	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	∑
95/96	1	1	-	1	-	2	2	1	-	-	-	-	**8**
96/97	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	**2**
97/98	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	**3**
98/99	1	6	6	5	1	-	-	-	-	1	1	-	**21**
99/00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	**3**
00/01	-	1	2	-	-	-	1	1	1	-	-	-	**6**
01/02	2	1	1	1	1	2	2	-	-	1	1	2	**14**
02/03	1	1	1	1	1	1	-	-	-	1	1	-	**8**
03/04	2	-	1	-	-	-	-	1	1	1	1	1	**8**
04/05	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**1**
05/06	-	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	**3**
06/07	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	**2**
07/08	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	**3**
08/09	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**1**
09/10	1	-	2	1	-	-	-	-	-	1	1	1	**7**
10/11	1	-	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	**5**
11/12	1	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	**4**
12/13	1	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	**4**
13/14	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	**3**
14/15	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**1**
Total	**13**	**13**	**23**	**14**	**5**	**7**	**5**	**4**	**3**	**8**	**6**	**6**	**107**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 6 - Total de falhas nos dados de Temperatura Média Comp. das 22 estações.

Ano	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	∑
95/96	3	3	2	3	2	3	2	1	-	-	-	-	**19**
96/97	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	**3**
97/98	1	-	-	1	-	-	-	2	2	1	-	-	**7**
98/99	1	6	6	5	1	-	-	-	-	1	1	1	**22**
99/00	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	**5**
00/01	-	1	2	-	-	-	1	1	2	1	1	1	**10**
01/02	2	1	1	1	1	2	2	-	-	1	1	1	**13**
02/03	1	1	1	1	1	1	-	-	-	1	1	-	**8**
03/04	2	-	1	-	-	-	-	1	1	1	1	1	**8**
04/05	-	-	1	-	-	1	1	1	1	1	-	-	**6**
05/06	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	**3**
06/07	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	**2**
07/08	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	**12**
08/09	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**3**
09/10	1	-	2	1	-	-	1	1	1	2	2	2	**13**
10/11	3	-	1	1	2	-	1	1	1	1	1	1	**13**
11/12	1	1	2	2	1	1	-	-	-	-	-	-	**8**
12/13	1	-	1	1	-	-	-	1	1	1	1	1	**8**
13/14	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	3	**19**
14/15	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	**16**
Total	**23**	**20**	**28**	**20**	**11**	**15**	**11**	**12**	**12**	**17**	**14**	**15**	**198**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 7 - Total de falhas nos dados de Temperatura Máxima das 22 estações.

Ano	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	∑
95/96	2	2	2	3	2	-	-	-	-	-	-	-	**11**
96/97	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**2**
97/98	1	-	-	1	-	-	-	2	2	1	-	-	**7**
98/99	-	5	6	5	2	1	1	1	1	1	1	2	**26**
99/00	3	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	**6**
00/01	-	-	2	-	-	-	1	1	2	1	1	1	**9**
01/02	2	2	1	1	-	1	1	-	-	1	1	2	**12**
02/03	1	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-	-	**7**
03/04	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**3**
04/05	1	-	1	-	-	1	1	1	1	1	-	-	**7**
05/06	1	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	**4**
06/07	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	**3**
07/08	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	**11**
08/09	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	**5**
09/10	1	-	2	2	-	-	1	1	1	1	1	1	**11**
10/11	2	-	2	1	2	-	1	1	1	1	1	1	**13**
11/12	2	1	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-	**8**
12/13	1	-	2	1	-	-	-	1	1	1	1	1	**9**
13/14	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	3	**19**
14/15	2	3	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	**17**
Total	**26**	**20**	**30**	**21**	**11**	**9**	**10**	**12**	**13**	**14**	**11**	**13**	**190**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 8 - Total de falhas nos dados de Precipitação das 122 estações.

Ano	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	∑
95/96	-	-	1	1	-	2	-	-	1	-	-	-	**5**
96/97	-	2	-	-	1	2	3	1	-	2	2	-	**13**
97/98	1	-	-	1	1	-	1	-	-	1	-	-	**5**
98/99	-	8	7	6	2	-	-	2	-	-	-	-	**25**
99/00	2	-	-	-	-	2	1	-	-	1	-	-	**6**
00/01	-	2	3	-	-	-	-	-	-	-	2	-	**7**
01/02	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**3**
02/03	-	1	4	11	3	4	-	-	1	2	-	-	**26**
03/04	4	1	1	-	-	2	-	1	-	-	-	-	**9**
04/05	-	1	2	-	-	1	1	1	-	1	1	-	**8**
05/06	1	2	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	**6**
06/07	4	2	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	**26**
07/08	2	2	2	2	1	1	3	3	2	1	3	1	**23**
08/09	-	-	1	2	-	-	2	1	4	1	8	2	**21**
09/10	2	2	2	3	2	4	3	-	-	2	1	1	**22**
10/11	1	-	2	5	3	-	1	2	5	1	-	2	**22**
11/12	3	-	2	4	2	3	2	2	-	3	1	3	**25**
12/13	5	1	2	4	1	2	2	6	1	5	5	2	**36**
13/14	4	3	7	6	2	2	5	-	3	-	3	6	**41**
14/15	4	1	2	2	3	1	4	2	5	2	1	2	**29**
Total	**35**	**29**	**40**	**49**	**23**	**29**	**30**	**24**	**25**	**24**	**29**	**21**	**358**

Fonte: Elaborado pelo autor

A estimativa das temperaturas mínima, média compensada e máxima do ar na escala mensal para 100 estações da ANA ocorreu através dos coeficientes obtidos pelos modelos de regressão calculados para o preenchimento das falhas dessas variáveis nas 22 estações do INMET. As médias mensais dos coeficientes de determinação (R^2) obtidos para os 720 modelos de regressão calculados estão presentes na Tabela 7.

Tabela 7 - Média mensal de R^2 para os modelos de regressão utilizados nos preenchimentos de falhas e estimativas das temperaturas Máxima, Média Compensada e Mínima para 20 anos.

Temperatura	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Média
Mínima	0,53	0,56	0,67	0,71	0,79	0,79	0,62	0,66	0,72	0,66	0,65	0,54	0,66
Média Compensada	0,79	0,80	0,87	0,87	0,89	0,91	0,83	0,85	0,88	0,84	0,84	0,80	0,85
Máxima	0,89	0,89	0,91	0,90	0,90	0,90	0,85	0,89	0,89	0,88	0,90	0,90	0,89

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores mais baixos de R^2 das temperaturas mínimas, principalmente nos meses de junho a setembro, são justificados pelas variáveis independentes empregadas na regressão linear múltipla serem fatores estáticos do clima (latitude, longitude e altitude), os quais não contribuem de forma contundente na explicação dos valores observados nessa variável térmica. Esse fato se dá em razão da temperatura mínima sofrer forte interferência dos fatores dinâmicos da atmosfera, sobretudo pela incursão de sistemas extratropicais com características frias, como os Sistemas Frontais e a Massa Polar Atlântica.

As médias mensais das temperaturas média compensada e máxima obtiveram altos valores de R^2, demonstrando que as variáveis independentes vinculadas aos fatores estáticos do clima possibilitaram explicar em média mais de 85% das variações. Os valores de R^2 encontrados para os meses mais frios da temperatura média compensada (junho a agosto) foram os mais baixos, podendo ser explicados pelas mesmas características presentes nos valores de R^2 das temperaturas mínimas. Já a temperatura máxima teve valores médios de R^2 igual ou superior a 0,89 em quase todos os meses, com exceção de janeiro (0,85).

Ao analisar o comportamento estatístico dos dados anuais de precipitação (Tabela 8) após preenchimento das falhas foi possível verificar que não há estações com características típicas de Distribuição Normal, tanto em relação à obliquidade (As), a partir do Coeficiente de Assimetria de Pearson ($\bar{X}$=Mediana[Md]=Moda[Mo]), como também na forma de achatamento da curva (K) pelo coeficiente percentílico de curtose (Mesocúrtica, K=0,263). A maioria das estações (65,6%) apresentaram curvas com As Positiva (Mo>Md>$\bar{X}$), divididas em Platicúrtica (mais achatadas e K>0,263, com 39,3%) e Leptocúrtica (mais afiladas e K<0,263, com 26,2%).

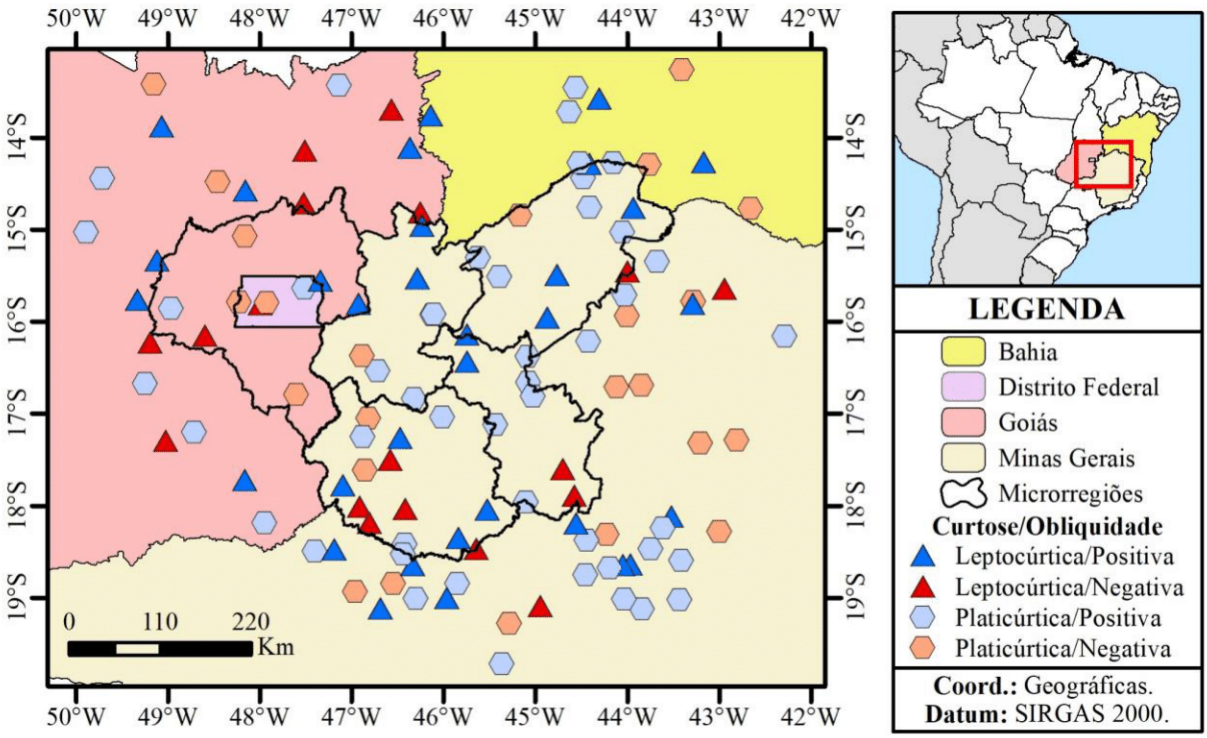
Tabela 8 - Frequência das características de obliquidade e curtose dos dados de pluviosidade das estações no entorno de Unaí-MG.

Curtose (K)	Obliquidade (As)			
	Negativa	**Simétrica**	**Positiva**	**Total**
Leptocúrtica	14,8%	-	26,2%	41,0%
Mesocúrtica	-	-	-	-
Platicúrtica	19,7%	-	39,3%	59,0%
Total	**34,5%**	**-**	**65,5%**	**100,0%**

Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

As estações com curvas de As Negativa ($\bar{x}$<Md<Mo) corresponderam a 34,4% do total, com K do tipo Platicúrtica em 19,7% e Leptocúrtica em 14,8%. O mapeamento da obliquidade e curtose das estações (Figura 35) possibilita inferir que não há um nítido padrão de distribuição espacial entre essas variáveis.

Figura 35 - Espacialização dos atributos de Obliquidade e Curtose por estação no entorno de Unaí.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Silvestre et al. (2013) explicam que a compreensão das medidas dos coeficientes de As e K são primordiais em determinadas análises climatológicas, por exemplo, na definição da técnica mais adequada de anos-padrão de pluviosidade, temperatura, umidade, etc. Diante dos resultados encontrados de As e K da pluviosidade para área de estudo, os autores sugerem não utilizar as técnicas de *Box-Plot*, o Percentil e o Desvio Quartílico, em razão delas serem

adequadas para dados com curvas de distribuição normal e as suas utilizações resultariam em inconsistências (observações com distribuição assimétrica seriam classificadas como uma distribuição simétrica). Mas o uso de outras técnicas de classificação como o Desvio-padrão, a Análise de Agrupamento, Sturges, o Índice de Anomalia de Chuvas, etc., reproduziriam a forma simétrica ou assimétrica presente na distribuição original dos dados, sendo as mais aconselhadas para segmentação das classes de pluviosidade das estações no entorno de Unaí.

5.2 DADOS MÉDIOS: 1995/1996 A 2014/2015

5.2.1 Caracterização anual

A área de estudo possui importantes contrastes pluviotérmicos, oriundos das características proporcionadas pelo arcabouço estático do clima em constante interação com os seus fatores dinâmicos. O intercâmbio de energia no sistema climático em suas múltiplas escalas possibilita que as manifestações dos seus elementos ocorram de modo heterogêneo no espaço e no tempo. Porém, o entendimento das qualidades médias da atmosfera possibilita que diversas atividades humanas, como a agricultura, possam planejar e melhor se adequar às condições climáticas impostas.

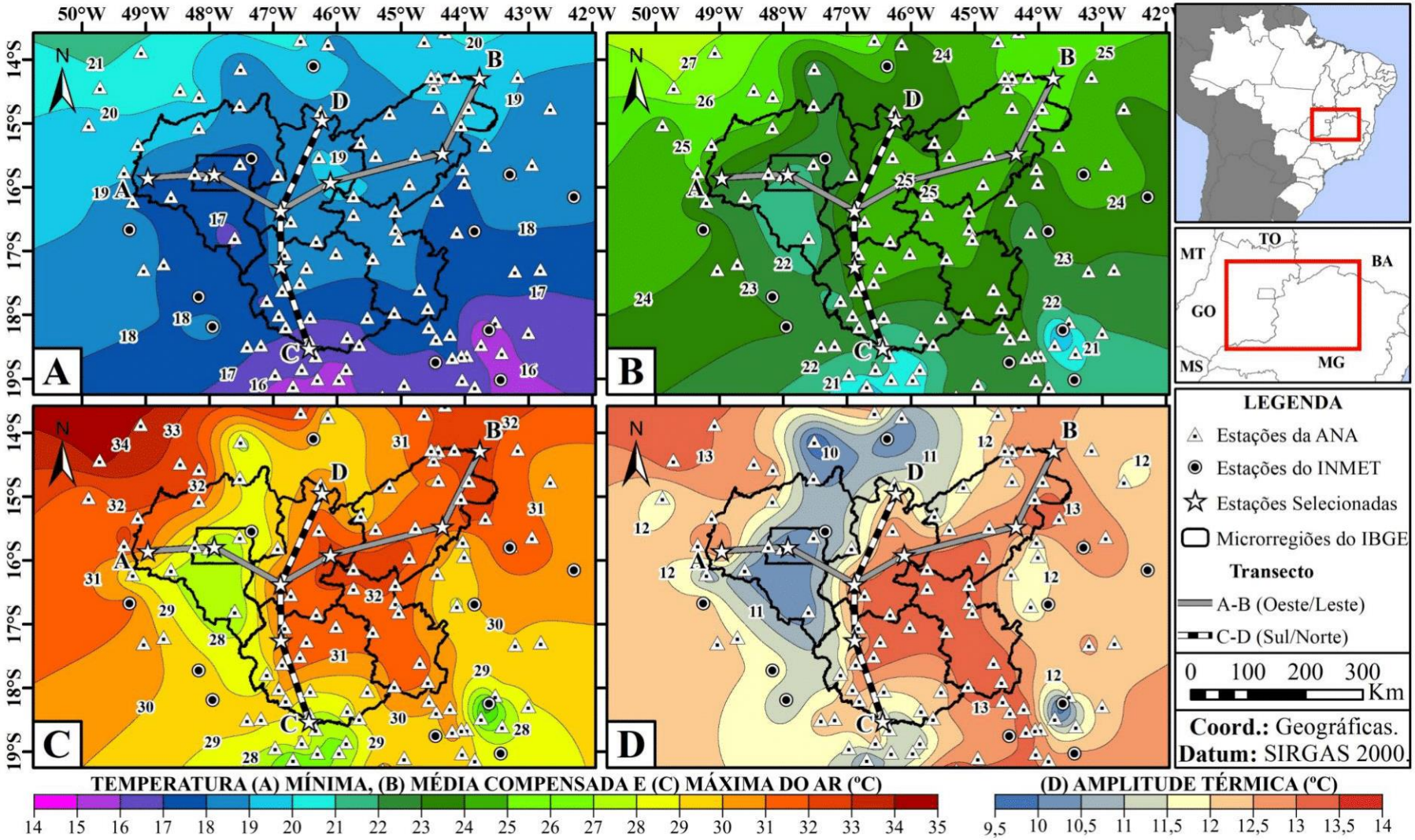
A manifestação espacial das variações médias da temperatura do ar anual no decorrer de 20 anos (1995/1996 a 2014/2015) possibilita identificar uma forte relação entre as variações da altitude regional com os valores mensurados de mínima, média compensada, máxima e amplitude térmica, como pode ser observado na Figura 36 e Tabela 9.

Tabela 9 - Caracterização estatística da temperatura do ar nas microrregiões do entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015.

Temperatura (ºC)		Microrregiões						Síntese Regional
		Brasília	Ent. de Brasília	Januária	Paracatu	Pirapora	Unaí	
Máxima	Máxima	29,3	32,4	32,6	31,9	32,4	32,4	32,6
	Média	27,9	29,1	31,5	30,0	31,4	31,1	30,4
	Mínima	27,0	26,9	29,2	27,4	29,7	28,1	26,9
Média Comp.	Máxima	23,1	25,5	25,6	24,5	25,0	25,0	25,6
	Média	22,1	22,9	24,6	23,0	24,0	24,1	23,6
	Mínima	21,4	21,1	23,0	21,0	22,8	22,0	21,0
Mínima	Máxima	11,1	13,1	13,5	13,4	13,4	13,3	19,8
	Média	10,4	11,1	12,6	12,4	13,2	12,4	18,2
	Mínima	10,0	10,1	11,1	11,0	12,2	10,8	16,2
Amplitude	Máxima	11,1	13,1	13,5	13,4	13,4	13,3	13,5
	Média	10,4	11,1	12,6	12,4	13,2	12,4	12,2
	Mínima	10,0	10,1	11,1	11,0	12,2	10,8	10,0

Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 36 - Espacialização das Temperaturas do ar (A) Mínima, (B) Média Compensada, (C) Máxima e (D) Amplitude no entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

As áreas com altitude mais elevada à oeste e no extremo sul, respectivamente nas microrregiões do Entorno de Brasília e Paracatu, apresentam temperaturas mais baixas em relação ao extremo nordeste da microrregião de Januária, que possui aumento gradual da temperatura rumo às menores altitudes da depressão da bacia do Rio São Francisco. Essas diferenças correspondem a 2ºC para as mínimas (17ºC/19ºC), 3ºC para média compensada (22ºC/25ºC), 4ºC para as máximas (28ºC/32ºC) e 2,5º para amplitude total (10,5ºC/13ºC).

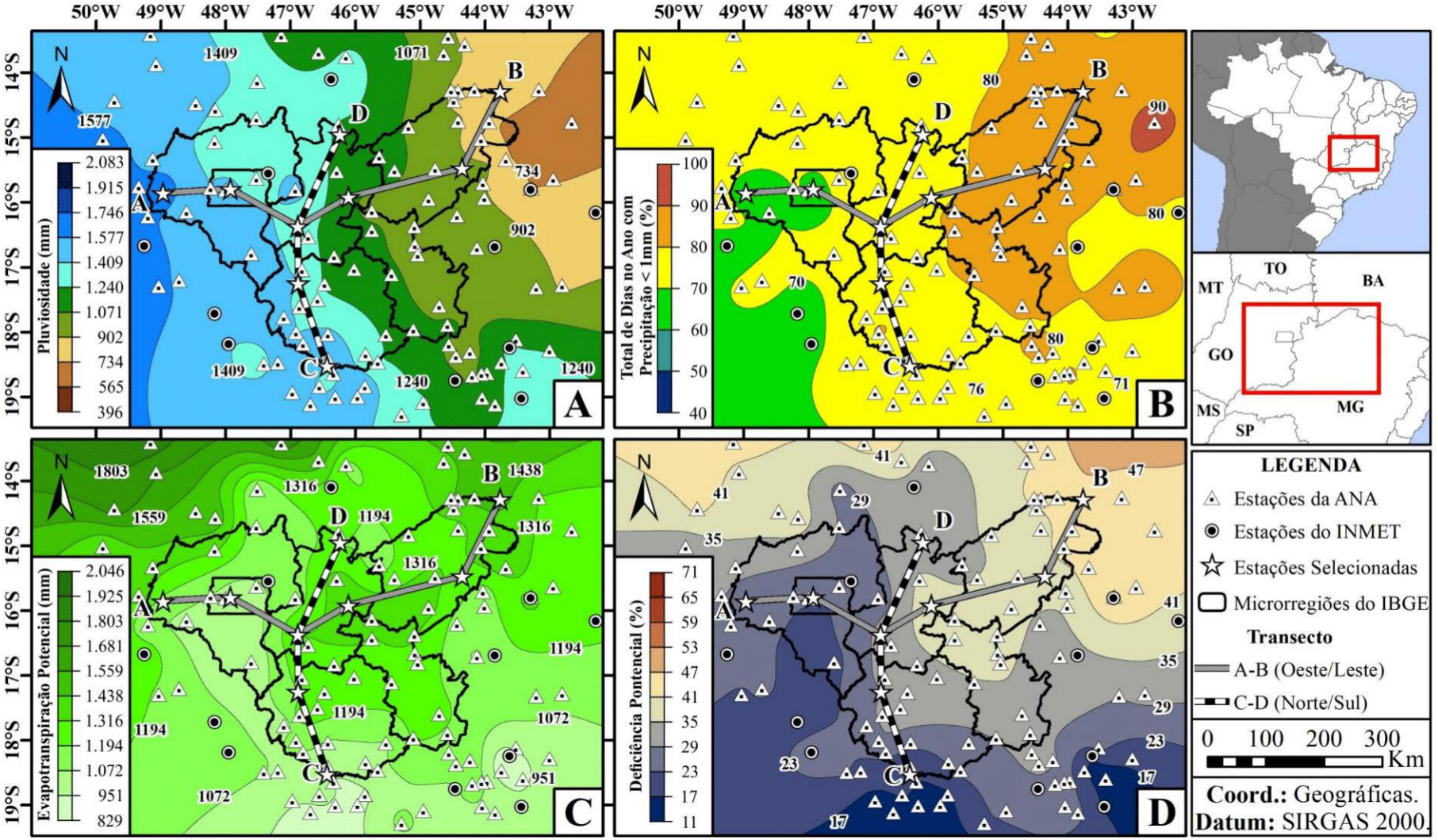
As diferenças presentes nas médias anuais dos quatro atributos de temperaturas do ar ora analisados ficam evidentemente explicitas ao comparar o papel de influência da compartimentação topográfica regional com a distribuição espacial desse elemento climático. O efeito da altitude explica parte das variações encontradas, podendo ser resumidas pelo (1) movimento ascendente forçado do ar que é induzido pelo relevo elevado, resultando em resfriamento por descompressão ou expansão mecânica do ar (resfriamento adiabático) e (2) pelo movimento descendente do ar rumo às áreas deprimidas (vertente sotavento), que proporciona o aquecimento do ar por compressão mecânica (aquecimento adiabático).

Ao considerar que a amplitude altimétrica entre as estações de E2-Brasília (1.160m) e E6-Carinhanha (450m) é de 710 metros e o valor teórico de variação da temperatura do ar em função da altitude é de aproximadamente -0,65°C/100m (AYOADE, 2007), pode-se relacionar esse fator como sendo parte da explicação para as diferenças de temperaturas encontradas entre as áreas mais altas e frias em oposição às altitudes mais baixas e quentes.

A (3) localização geográfica possibilita associar a influência da continentalidade como outro fator climático que contribui nas elevadas amplitudes térmicas anuais (NIMER, 1989). Nas (4) latitudes que compreendem a área de estudo ocorrem menor inclinação média do ângulo de incidência dos raios solares (ondas curtas) em relação à superfície terrestre, favorecendo o aumento de quantidade de energia absorvida, transmitida e irradiada à atmosfera (ondas longas), resultando em valores elevados de temperatura do ar (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2009). Além dos quatro fatores expostos, a (5) circulação atmosférica e o poder de abrangência das massas de ar resultarão em superfície a impressão de suas características higrotérmicas.

Em relação às variações espaciais das médias anuais de pluviosidade (Figura 37A) verificou-se pelo padrão das isoietas que a distribuição desse elemento climático foi espacialmente irregular ao possuir regiões com volumes pluviométricos mais acentuados nos quadrantes oeste, sudoeste e sul, e menos expressivos nos quadrantes Leste/Nordeste, os quais possuem muitas similaridades com os dados das Normais Climatológicas Provisórias entre 1981 e 2010 (Figura 30, p. 91).

Figura 37 - (A) Espacialização da pluviosidade, (B) Total de dias com precipitação menor que 1mm, (C) Evapotranspiração Potencial, (D) Déficit de Evapotranspiração Relativa no entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Ao analisar conjuntamente as variações da precipitação com o total de dias secos no ano, tanto nos seus aspectos quantitativos (Tabela 10) como na distribuição espacial (Figuras 37A e 37B), é possível inferir que as irregularidades presentes estão associadas aos fatores geográficos estáticos e dinâmicos do clima que produziram diferentes condições, ocasionadas, principalmente, pelo relevo e a sucessão das massas de ar. Esse fato pode ser confirmado ao constatar o gradiente de intensidade formado entre as microrregiões de Brasília e Entorno de Brasília à oeste e suas gradativas variações rumo à leste (Paracatu, Unaí, Pirapora e Januária).

Tabela 10 - Caracterização estatística da precipitação e do total de dias secos nas microrregiões do entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015.

Variável Climática		Microrregiões						Síntese Regional
		Brasília	Ent. de Brasília	Januária	Paracatu	Pirapora	Unaí	
Precipitação (mm)	Máxima	1.486,0	1.714,2	1.199,1	1.517,8	1.198,2	1.472,7	1.714,2
	Média	1.389,6	1.433,1	958,5	1.324,4	1.056,2	1.247,7	1.224,3
	Mínima	1.232,2	1.272,9	713,4	1.087,5	954,4	1.030,1	713,4
Total de Dias Secos (%)	Máxima	73,7	75,2	86,8	81,9	83,0	81,1	86,8
	Média	70,1	70,9	83,0	76,8	80,6	76,0	76,9
	Mínima	66,0	63,6	78,0	68,4	77,5	71,1	63,6

Fonte: ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Assim como acontece com as variáveis térmicas, ao comparar a altitude regional (Figura 27, p. 87) em relação as médias anuais de pluviosidade e dias secos no ano, constatou-se importante relação entre essas variáveis e os movimentos advectivos e convectivos do ar na atmosfera e suas consequentes interações com a superfície. Um dos fatores que podem ser destacados refere-se as áreas de maior altitude que atuam como barreira natural ao forçar o movimento ascendente do ar e a formação de nebulosidade por descompressão ou expansão mecânica do ar (resfriamento adiabático). O fator da altitude em conjunto com a quantidade de água na atmosfera, a presença de partículas higroscópicas e a turbulência atmosférica favorecem a gênese pluvial nessas regiões à oeste. Em oposição, as áreas de altitude mais baixa possuem como característica o aquecimento do ar por compressão mecânica (aquecimento adiabático) que restringe a formação de nebulosidade (AYOADE, 2007).

Quando se analisa a interação entre os elementos pluviotérmicos e suas distribuições espaciais a partir das variáveis do BHC no entorno de Unaí, nota-se que a Evapotranspiração Potencial (ET_p, Figura 37C) e o Déficit de Evapotranspiração Relativa (DER, Figura 37D) estão fortemente associados à modulação do relevo em condicionar a temperatura média na área de estudo. Esse fato está relacionado a maior intensidade de perda de água no solo para a atmosfera nas áreas de menor altitude e menor potencial de perda nas áreas de maior altitude.

A interação entre o *input* (precipitação) e *output* (evapotranspiração) no sistema solo-planta-atmosfera demonstra que a intensidade de perda (DEF) ou armazenamento (EXC) de água no solo atuam de modo distinto nas microrregiões. Ao analisar os mapas do acumulado anual de DEF e EXC (Figuras 38A e 38B) e a diferença aritmética entre essas duas variáveis (Figura 38C), fica evidente a distinção entre as áreas onde predominam essas características.

As áreas mais elevadas à oeste têm menores valores de temperatura do ar, ET_p e DER, além de possuírem maior precipitação, que possibilitam menor quantidade de perda de água no solo e acúmulo de maiores EXC. Em contraposição, as áreas de menor altitude situadas à leste abrigam características climáticas vinculadas ao aumento gradual da temperatura, ET_p e DER, além de estarem associadas a redução linear da precipitação que, em conjunto, favorecem maior DEF. Nota-se que as condições espaciais dessas variáveis estão atreladas à compartimentação geomorfológica do Planalto Central e a depressão da bacia do Rio São Francisco, além do entorno do município de Unaí-MG possuir características de transição climática, devido a evidente diferenciação entre as áreas de predominância de EXC ou DEF anual (Figura 38C).

Essas características do BHC podem ser sintetizadas pela classificação climática de Thornthwaite (MENDONÇA; DANNI-OLIVERA, 2009), através do Índice de Umidade (Im) exposto na Figura 38D e Tabela 11.

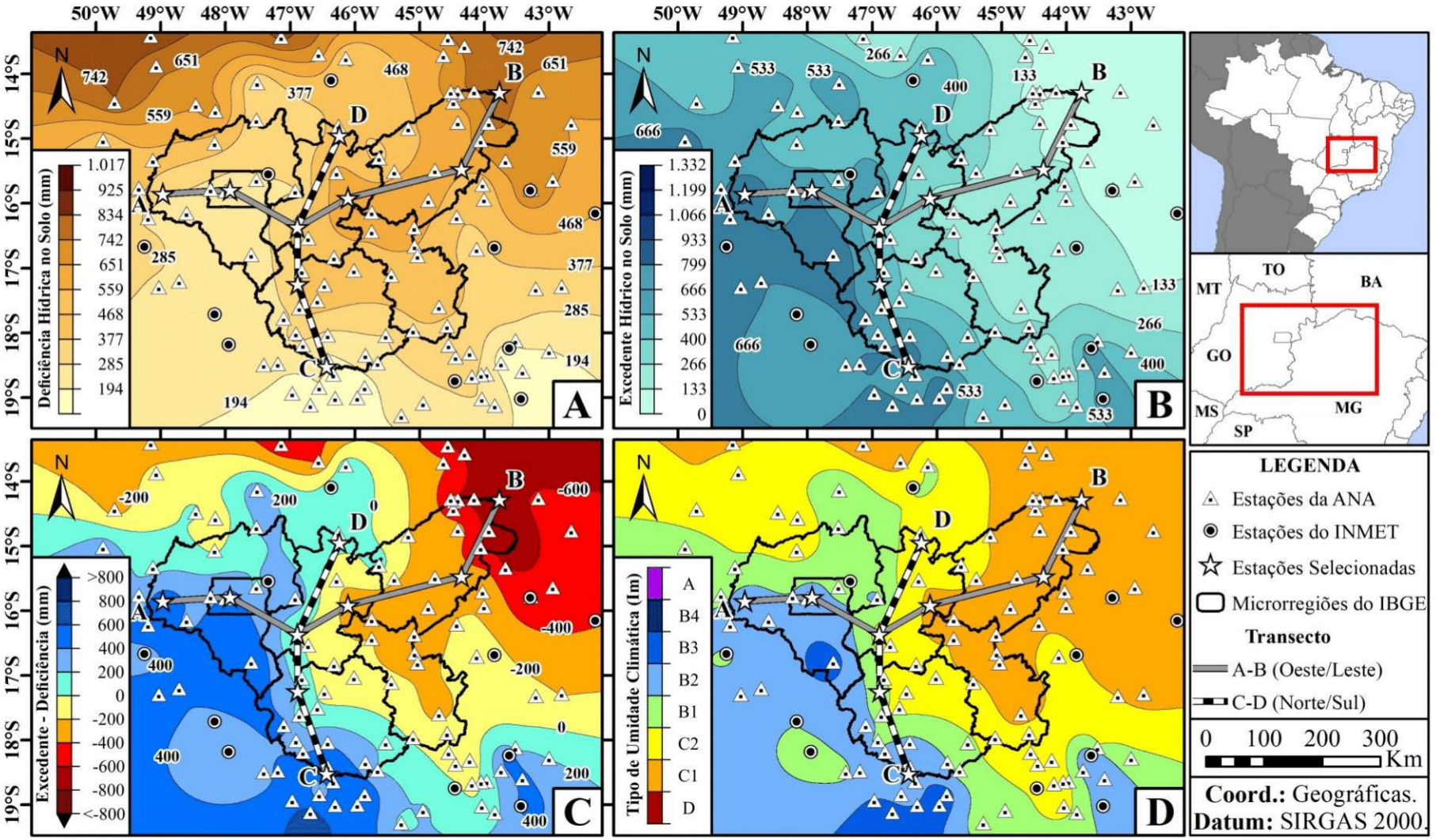
Tabela 11 - Área ocupada (%) pelas classes do Índice de Umidade (Im) do Balanço Hídrico nas microrregiões do entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015.

Tipo de Umidade Climática	Microrregiões						Síntese Regional
	Brasília	Ent. de Brasília	Januária	Paracatu	Pirapora	Unaí	
A - Superúmido	-	-	-	-	-	-	-
B4 - Úmido	-	-	-	-	-	-	-
B3 - Úmido	-	1,7	-	-	-	-	1,7
B2 - Úmido	2,3	9,2	-	5,9	-	0,4	17,8
B1 - Úmido	1,2	10,5	-	7,6	-	3,8	23,1
C2 - Subúmido chuvoso	-	2,1	2,2	8,0	4,6	10,8	27,7
C1 - Subúmido seco	-	-	18,2	-	9,6	1,9	29,7
D - Semiárido	-	-	-	-	-	-	-
Total	**3,5**	**23,5**	**20,4**	**21,5**	**14,2**	**16,9**	**100,0**

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados demonstram que as áreas mais elevadas das microrregiões de Brasília, Entorno de Brasília, e parcialmente Paracatu e Unaí abrigam majoritariamente as classes úmidas (B3, B2 e B1). O tipo Subúmido Chuvoso (C2) está situado, principalmente, em partes das microrregiões de Unaí, Paracatu e Pirapora e caracteriza-se por ser a transição entre as áreas elevadas à oeste e a depressão do Rio São Francisco. O tipo Subúmido Seco (C1) está vinculado às baixas altitudes da depressão do Rio São Francisco nas microrregiões de Pirapora e Januária.

Figura 38 - Espacialização da (A) Deficiência e do (B) Excedente Hídrico no solo, (C) Diferença entre Excedente e Deficiência Hídrica no Solo e (D) Tipo de Umidade Climática (Im) no entorno de Unaí-MG: Média Anual entre 1995/1996 e 2014/2015.



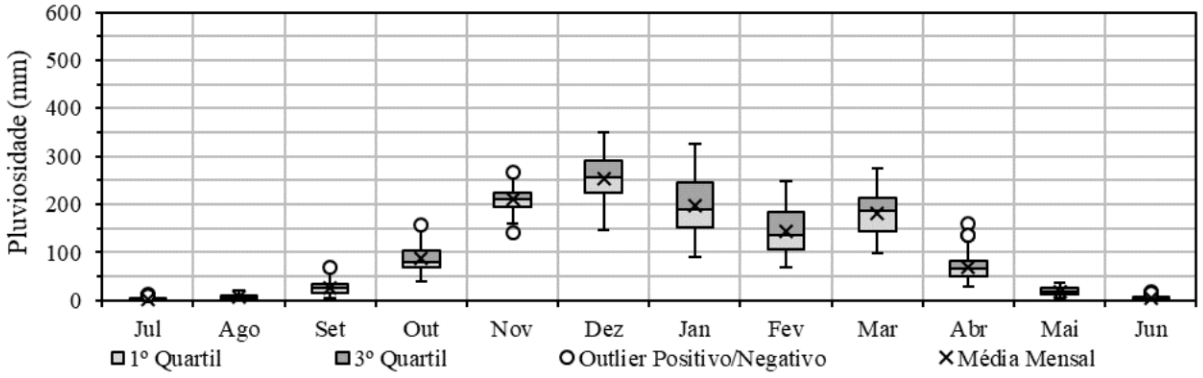
Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

5.2.2 Decomposição temporal: escalas sazonal e mensal

A escolha do início do aprofundamento da compreensão das características climáticas no entorno de Unaí se dá a partir do entendimento das características do regime pluvial. A preferência por essa variável ocorre em razão dos intensos contrastes pluviométricos encontrados e por ser um importante elemento insumidor que condiciona a produção agrícola.

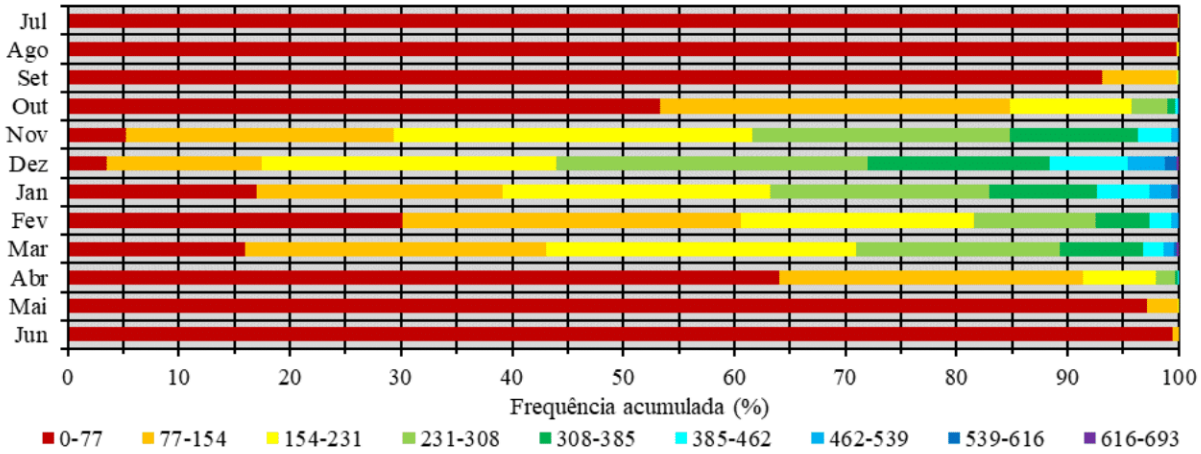
As Figuras 39 e 40 apresentam as médias mensais históricas da pluviosidade das 122 estações analisadas e possibilitam identificar que a localização das microrregiões estudadas propicia que o clima regional seja muito semelhante a grande parte do Brasil Central, caracterizado pela alternância das estações secas e úmidas (NIMER, 1989).

Figura 39 - Gráfico de *Box-Plot* da pluviosidade média mensal entre 1995/1996 e 2014/2015 das estações situadas no entorno de Unaí-MG.



Fonte: ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 40 - Histograma das médias mensais da precipitação dos anos entre 1995/1996 e 2014/2015 das estações situadas no entorno de Unaí-MG.



Fonte: ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

O período seco pode ser definido pelos meses de maio a setembro, quando ocorre em 100% desse período acumulados médios de até 77mm de chuva, com ápice da estiagem entre junho e agosto, com máximos inferiores a 20mm. Já o período chuvoso tem início em outubro

e vai até abril, porém com fortes contrastes entre as estações analisadas, em razão das amplitudes que variam entre 116,8mm em outubro, 125,2mm em novembro, 202,5mm em dezembro, 237,1mm em janeiro, 179,5mm em fevereiro, 177,7mm em março e 130,3mm em abril. Dezembro é o mês mais chuvoso em todas as estações analisadas (média de 254,1mm) e o mais seco é junho (média de 2,5mm), sendo os meses de outubro e abril típicos de transição entre os períodos de estiagem e chuvoso, respectivamente.

Borsato (2016) explica que a circulação atmosférica dessa porção do território brasileiro é desencadeada pela transição de sistemas de circulação geral de origem equatorial (Massa Equatorial Continental [mEc]), tropical (Massa Tropical Atlântica [mTa] e Massa Tropical Continental [mTc]) e extratropical (Sistemas Frontais [SF] e Massa Polar Atlântica [mPa]).

A gênese pluvial no período de primavera-verão recebe a contribuição dos SF na organização da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), as quais são distintas pela duração da atuação (ZCOU menor que 4 dias / ZCAS a partir de 4 dias) mas similares pela configuração sinótica (arranjo espacial entre as massas de ar equatorial, tropical e extratropical, que formam uma banda de nebulosidade NO/SE entre o sul da Amazônia e o Oceano Atlântico). Por fim, o Borsato (op. cit.) enfatiza o papel dos subsistemas atmosféricos originados no interior ou no limite das massas de ar, como a Convecção Tropical (CV), as Linhas de Instabilidade (LI) e os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) que possuem importantes contribuições para pluviosidade.

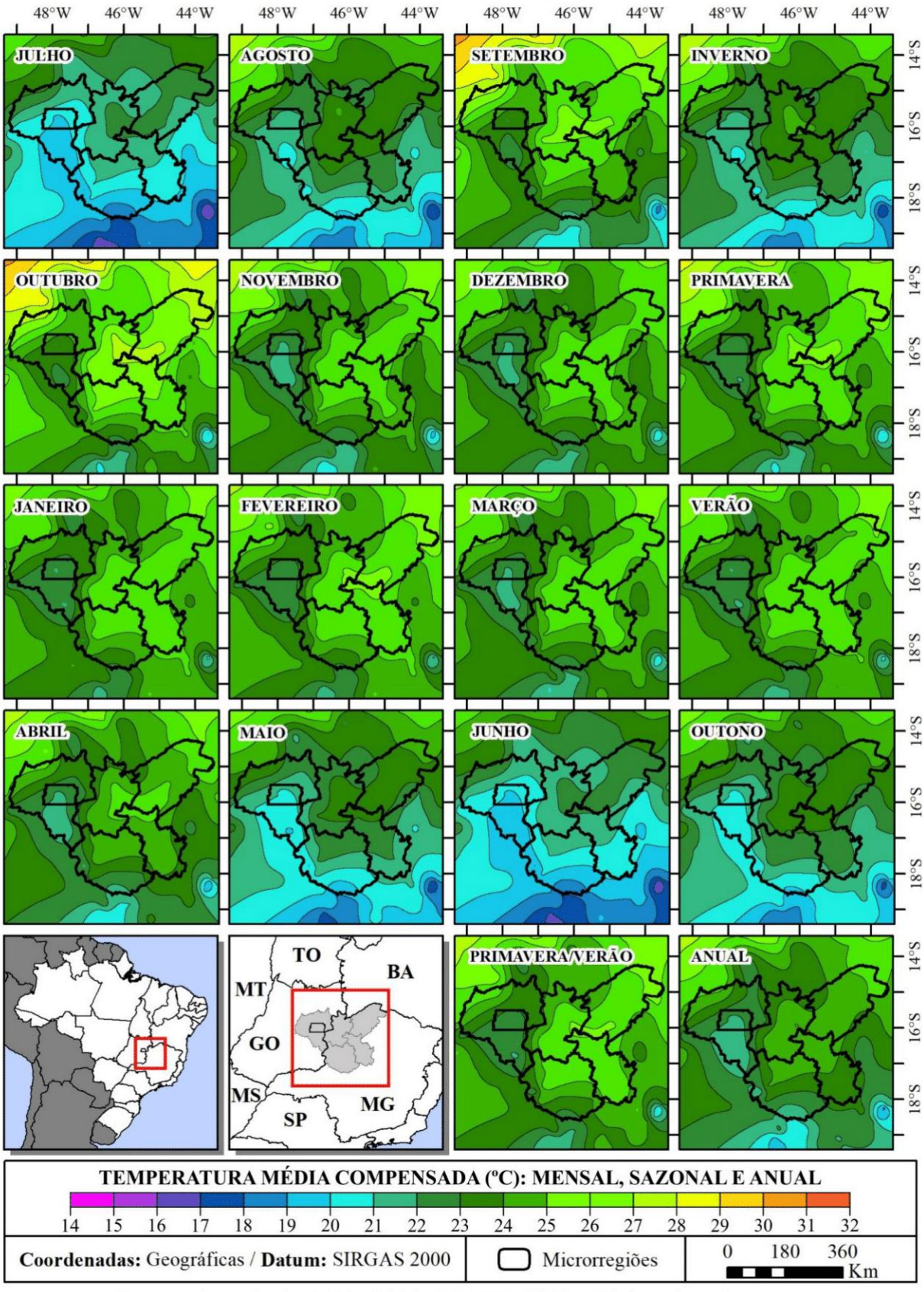
A partir dos estudos desenvolvidos por Alves (2009), Nunes et al. (2009) e Borsato (2017), é possível inferir que a ocorrência e a configuração têmporo-espacial média de atuação das massas de ar no período chuvoso na área de estudo possuem as seguintes características:

a) a sazonalidade climática do período proporciona o deslocamento do centro de ação do ASAS para menores latitudes, que proporciona a redução do seu poder de atuação e influencia diretamente na sua menor participação e abrangência nas áreas mais interioranas da porção ocidental do território brasileiro;
b) o maior aquecimento do continente nessa época do ano gera núcleos de baixa pressão que possibilitam a expansão da atuação da mTc (originado na Depressão do Chaco e com características de tempo quente e seco) e da mEc (transporte do calor e umidade da região amazônica) para porção central do Brasil, incluindo a área analisada. Enquanto o primeiro sistema atmosférico tende a originar menores quantitativos pluviais devido às suas condições hígricas, o segundo sistema interage com maior intensidade com a orografia regional e proporciona elevados volumes pluviométricos na porção ocidental das microrregiões;

c) as localidades situadas nas porções sul, sudoeste e oeste estão sujeitas a maior recorrência de sistemas atmosféricos extratropicais, devido à orientação NO-SE da banda de nebulosidade dos SF, que propiciam maior variabilidade interanual da precipitação. O avanço da mPa (alta pressão) rumo às baixas latitudes favorece o estabelecimento de uma faixa de baixa pressão em sua vanguarda (SF), ocasionado pela ascensão forçada do ar quente e úmido que gera nebulosidade e pode resultar em precipitação (chuva frontal). Mas esse processo de pluviogênese tende a ser atenuado ou até mesmo anulado em virtude do deslocamento da mPa do continente rumo ao Oceano Atlântico ou devido as condições barométricas (baixo gradiente de pressão) gerarem intenso processo de tropicalização, que, ao deslocar-se pelo território sul-americano, troca energia com a superfície e modifica seus atributos térmicos (frio) e hígricos (seco) originais. Essa descaracterização pode gerar a dissipação da mPa e o processo de frontólise dos SF antes mesmo de atuar nas porções meridionais da área de estudo. A ocorrência desse fato abre espaço para o predomínio de sistemas tropicais que tendem a proporcionar totais pluviais menos expressivos;
d) a configuração sinótica atrelada ao avanço dos SF e seu arranjo espacial com a mTc, a mEc e a mTa que originam a ZCOU e/ou da ZCAS, as quais propiciam intensos episódios de pluviosidade e, por isso, são importantes contribuintes na gênese pluvial regional;
e) a redução linear da pluviosidade no transecto A-B (oeste/leste) está vinculada a três fatores principais da circulação atmosférica regional: (1) o predomínio dos sistemas tropicais que favorecem o tempo seco, quente e com pouca nebulosidade, resultantes dos movimentos anticiclônicos das camadas superiores da atmosfera que inibem as correntes convectivas ascendentes (com destaque para mTa, que age com maior intensidade nas menores longitudes em razão da maior proximidade do núcleo de atuação do ASAS); (2) as características climáticas de continentalidade, que são acentuadas devido ao enfraquecimento gradual do poder de atuação dos sistemas equatoriais e extratropicais rumo a porção oriental da microrregião de Januária, restando às LI tropicais o papel de maior responsável pela gênese pluvial (possuem menor capacidade de gerar episódios de alta pluviosidade e impactam nos baixos totais acumulados anualmente); (3) menor atuação e/ou limitação do avanço da ZCOU e/ou ZCAS rumo às baixas latitudes e longitudes.

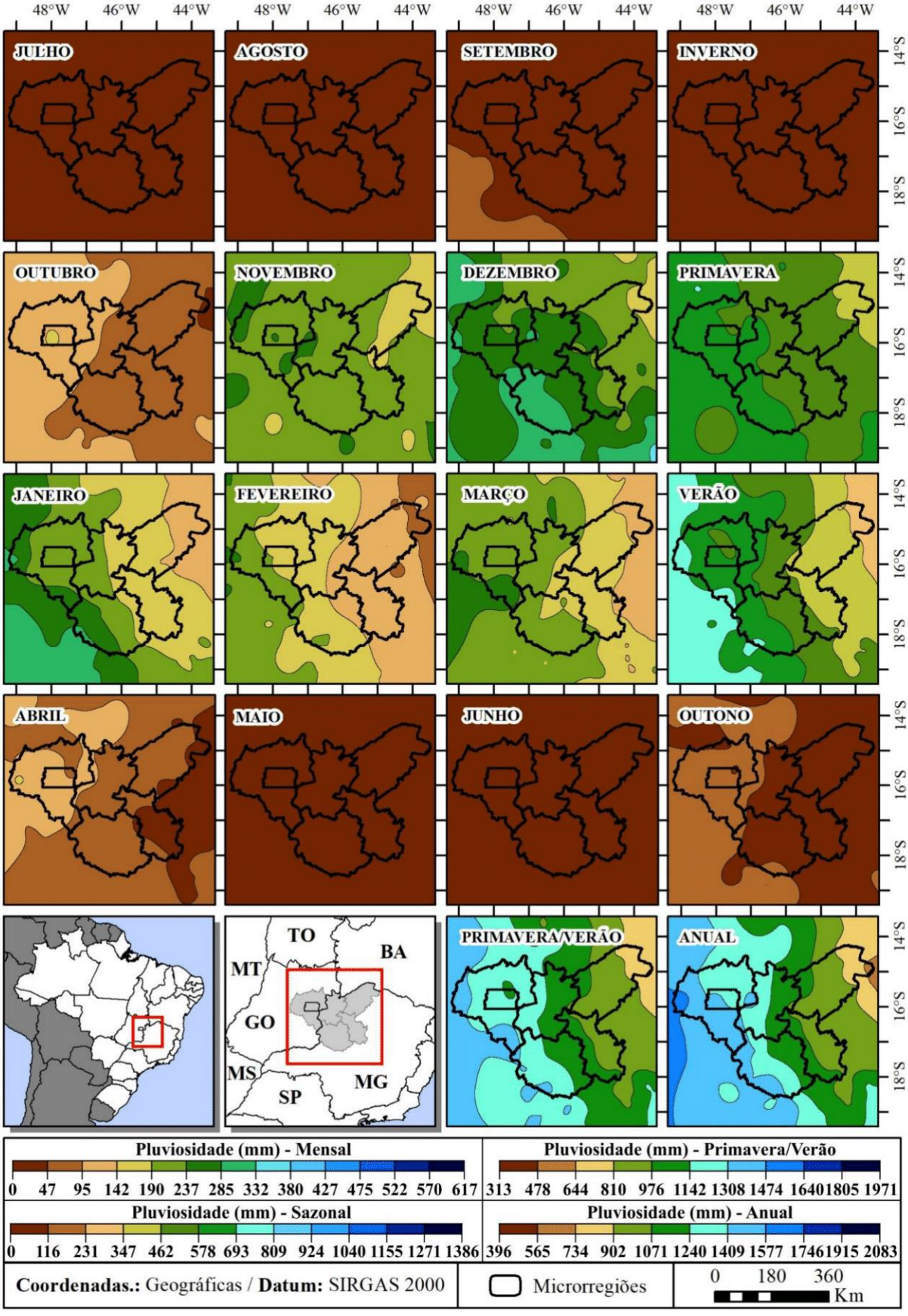
Ao aumentar o detalhamento temporal de análise das variáveis analisadas (escalas sazonal e mensal) através da espacialização das médias históricas de temperatura média compensada (Figura 41), precipitação (Figura 42), total de dias secos (Figura 43) e diferença entre DEF e EXC no solo (Figura 44) foi possível constatar as nuances regionais da variabilidade pluviotérmica e do BHC no decorrer da sazonalidade climática.

Figura 41 - Temperatura Média Compensada nas escalas mensal, sazonal e anual no entorno de Unaí-MG: média entre 1995/1996 e 2014/2015.



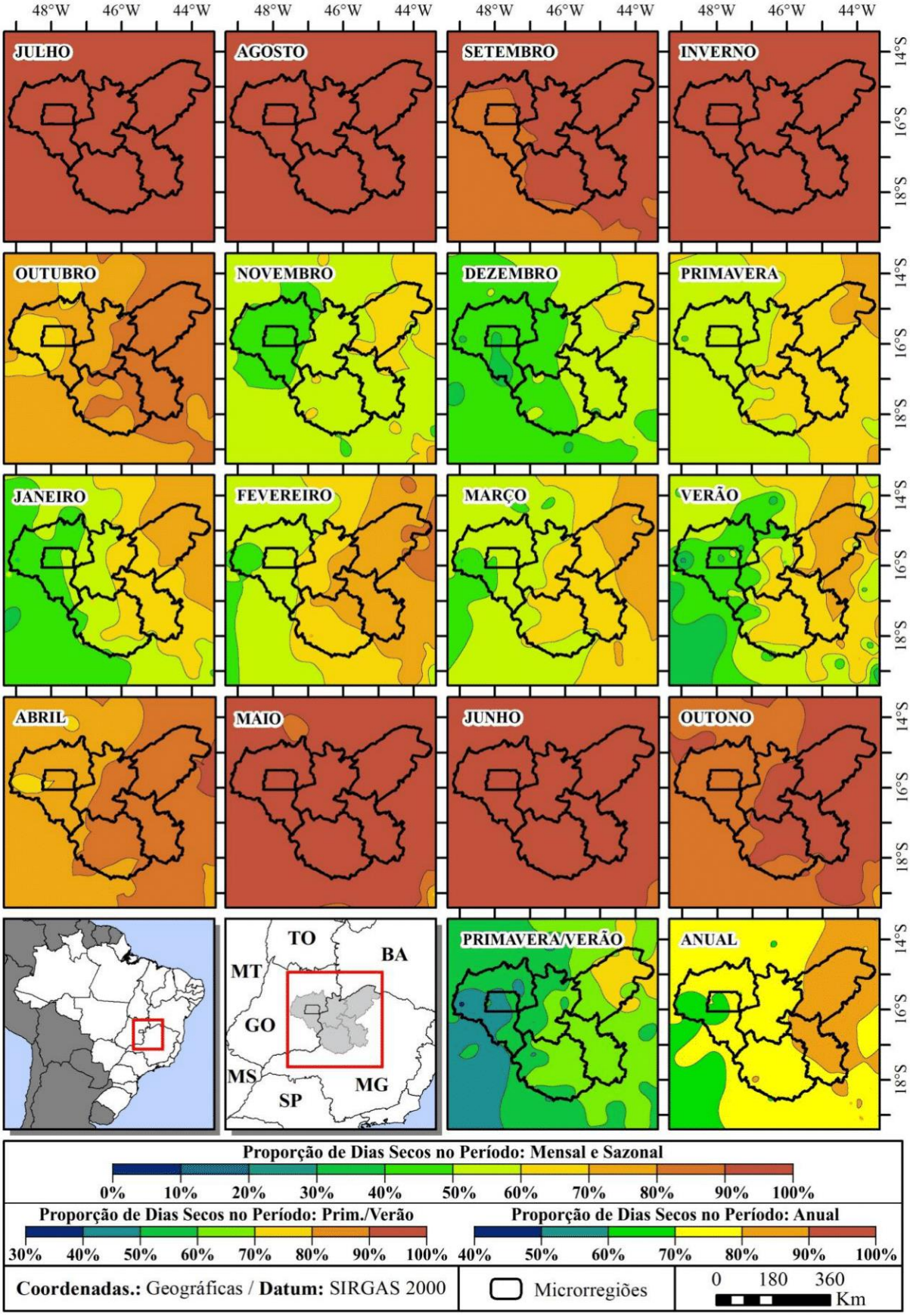
Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 42 - Pluviosidade mensal, sazonal e anual no entorno de Unaí-MG: média entre 1995/1996 e 2014/2015.



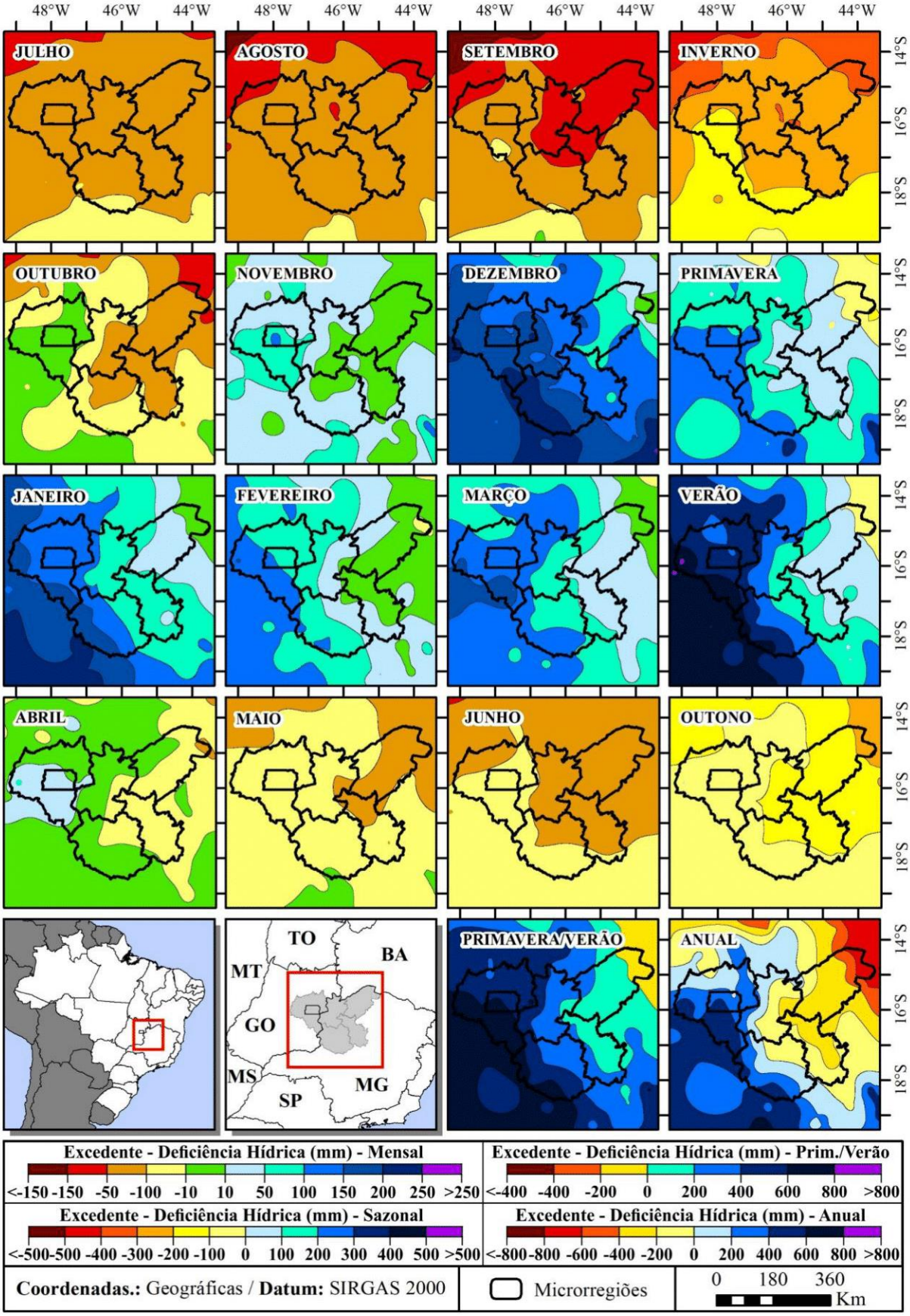
Fonte: ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 43 - Proporção de ocorrências de dias com precipitação menor que 1mm nas escalas mensal, sazonal e anual no entorno de Unaí-MG: média entre 1995/1996 e 2014/2015.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 44 - Diferença entre Excedente e Deficiência Hídrica no Solo das médias entre 1995/1996 e 2014/2015 nas escalas mensal, sazonal e anual no entorno de Unaí-MG.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

As características espaciais dos atributos climáticos em tela possibilitam identificar que o padrão encontrado nos dados anuais é muito semelhante à manifestação dos elementos em superfície nas escalas sazonal e mensal. Esse fato pode ser exemplificado de modo generalista pelas médias mensais de temperatura média compensada (mais quente nas menores altitudes da porção centro-leste e mais frias na porção centro-oeste), precipitação e total de dias secos (mais chuvoso à oeste e gradativamente mais seco à leste) e, por último, pelas características do BHC (predomínio de EXC nas áreas de maior altitude à oeste e DEF nas menores altitudes à leste).

O período do inverno é reconhecido pela temperatura média do ar mais baixa, sobretudo no seu início (meses de julho e agosto), que limita os processos de evaporação e, por consequência, o aumento da umidade atmosférica. Com isso, as médias de precipitação pluvial são muito escassos ou até inexistentes no período, proporcionando intensa ocorrência de dias secos e predomínio da DEF em todas as microrregiões.

Entre o final do inverno (setembro) e início da primavera (outubro) verificou-se que as características climáticas apresentam a transição entre o fim período de estiagem e início do período chuvoso. Esse processo ocorre à *priori* nas áreas situadas à oeste, através do aumento gradativo das médias mensais de temperatura, a ocorrência das primeiras chuvas do ano agrícola e a redução do total de dias secos, mas que ainda são incapazes de proporcionar EXC nas microrregiões. Enquanto isso, a porção leste apresenta elevadas temperaturas (as maiores da média anual) em consonância com a ausência (setembro) ou baixa presença (outubro) de volumes pluviais, prevalecendo, desse modo, forte DEF.

Mas é a partir do mês de novembro e, sobretudo, dezembro que as características climáticas da primavera começam a atuar com maior vigor, especialmente pelos totais pluviais mais significativos. As microrregiões de Brasília, Entorno de Brasília e sul de Paracatu apresentam temperaturas do ar mais baixas que nas outras localidades, além de abrigarem quantitativos pluviométricos mais intensos. Verificou-se que nas demais localidades o início do período chuvoso e a intensidade dos totais precipitados são gradualmente mais significativos de oeste para leste. Entretanto, ao avaliar as condições do BHC constata-se que as características pluviotérmicas citadas interferem diretamente no comportamento espacial e temporal da água armazenada no solo, ao favorecerem inexpressivos totais de EXC a partir de novembro e que atingem seu ápice anual (abrangência espacial e volumétrica) em dezembro.

O verão possui como qualidade ser o período mais chuvoso do ano. Entretanto, isso não ocorre de forma homogênea nas microrregiões. Enquanto janeiro ainda mantém as chuvas na porção oeste, porém, com menor magnitude em comparação a dezembro, as áreas localizadas no centro-leste já apresentam importantes diminuições de dias de precipitação e totais pluviais,

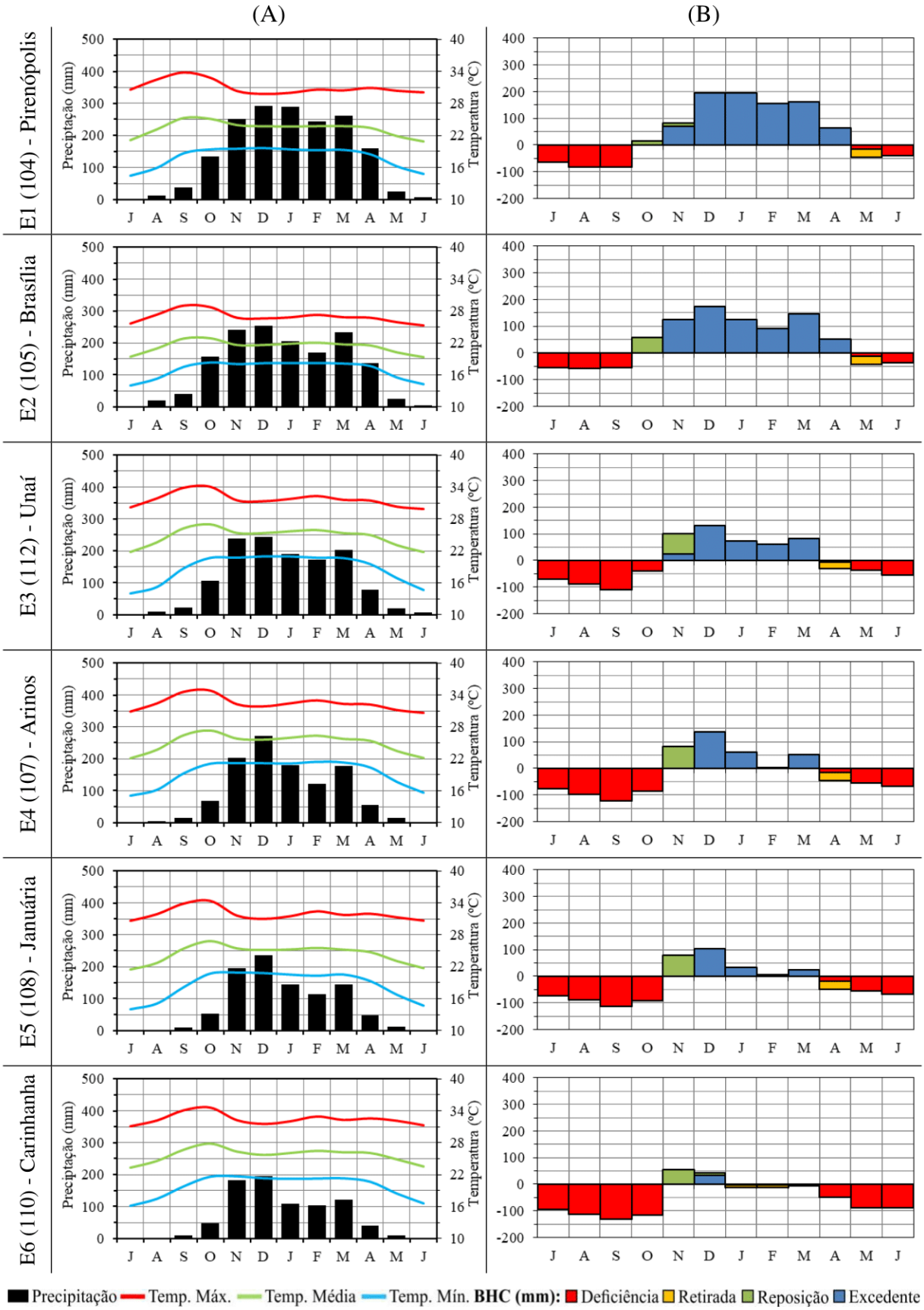
os quais são diretamente refletidos nos EXC. Essa situação de “seca” é acentuada em fevereiro, quando ocorre redução expressiva da pluviosidade, acréscimo do total de dias secos e o aumento da temperatura, os quais indicam maior propensão de episódios de veranicos pela diminuição marcante dos totais de EXC, sobretudo no setor oriental. Porém, as condições pluviotérmicas do mês de março apresentam retomada das condições típicas de verão, pelo aumento da pluviosidade e redução dos dias secos e da temperatura média (muito parecida com o mês de janeiro), possibilitando que as características espaciais e quantitativas do BHC sejam próximas as encontradas no início da sazonalidade climática em todas as microrregiões.

O mês de abril é climaticamente marcado como o término da estação chuvosa e o princípio do período seco. Esse mês proporciona o início da diminuição das médias de temperatura em conjunto com a drástica redução dos volumes precipitados, os quais favorecem a ampliação da quantidade de dias secos em todas as microrregiões. Assim como foi identificada ao longo das estações do ano, a porção leste apresenta de modo precoce e com maior intensidade a transição da sazonalidade climática. Os meses de maio e junho podem ser pluvialmente classificados como muito semelhantes em toda área de estudo (ápice do período de estiagem), fruto dos baixos acumulados mensais que acabam refletindo na quase totalidade dias secos nesses meses. Desse modo, a DEF é predominante, todavia a intensidade está presente de forma heterogênea no tempo (maio brando e junho drástico) e no espaço (maior altitude é amena e menor altitude é severa).

Ao analisar as características pluviais, térmicas e do BHC através das estações do INMET situadas nos transectos A-B (leste/oeste) e C-D (sul/norte), fica nítido o quanto as diferenças espaciais entre as localidades apresentam fortes contrastes regionais ao longo do ano agrícola (Figuras 45 e 46).

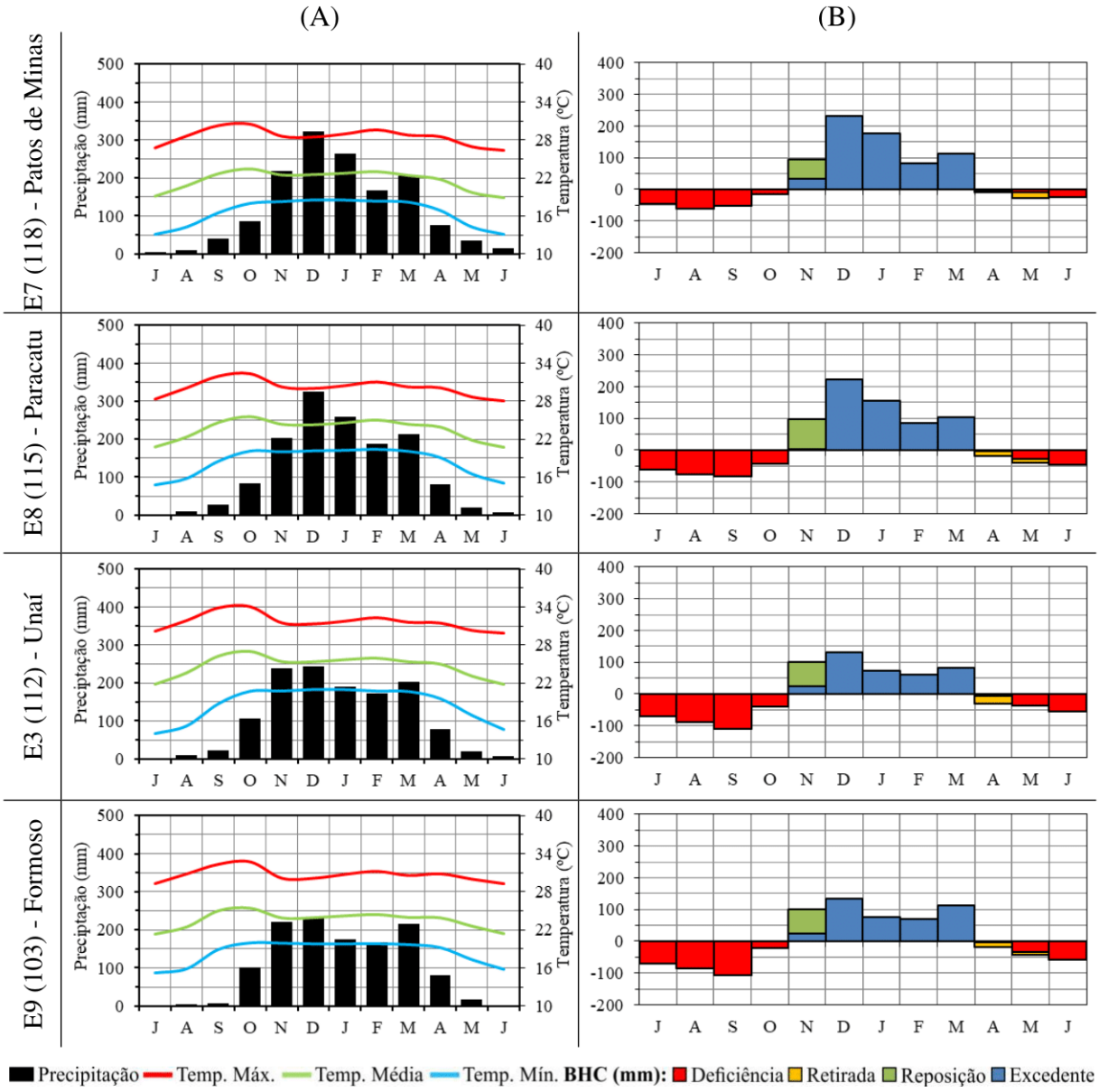
A amplitude da temperatura média compensada e pluviométrica anual entre as estações do transecto A-B (Figura 45A) foi, respectivamente, de 4,3ºC e 897,2mm. Em todas as estações o mês de dezembro foi o mais chuvoso (196,3mm a 291,3mm) e julho o mais seco (0,1mm a 2mm). As temperaturas médias máximas ocorrem em E1-Pirenópolis (33,7ºC) e E2-Brasília (29,1ºC) em setembro e em outubro nas demais localidades (34,1ºC, 34,8ºC, 34,4ºC e 34,6ºC). As médias das temperaturas médias compensadas demonstram que os meses mais quentes são setembro/outubro em E2-Brasília (22,9ºC) e E1-Pirenópolis (25,2ºC) e em outubro nas demais estações (entre 26,8ºC e 27,8ºC), opondo-se aos meses mais frios de junho à oeste (E2-Brasília com 19,4ºC e E1-Pirenópolis com 20,9ºC) e julho à leste (21,8ºC a 23,3ºC). As menores médias de temperatura mínima ocorrem no mês de julho, variando entre 14ºC (E3-Unaí) e 16,2ºC (E6-Carinhanha).

Figura 45 - (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico mensal das Médias entre 1995/1996 e 2014/2015 para as estações situadas no transecto A-B (Oeste/Leste).



Fonte: adaptado de INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 46 - (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico mensal das Médias entre 1995/1996 e 2014/2015 para as estações situadas no transecto C-D (Sul/Norte).



Fonte: adaptado de INMET, 2018a|. Elaborado pelo autor.

Ao considerar as quatro estações do transecto C-D (sul-norte), Figura 46A, contatou-se que as diferença anual das variáveis da temperatura média compensada e pluviosidade entre as estações foi de 3ºC e 150,0mm. Em todas as estações do transecto o mês de outubro obteve as maiores temperaturas máximas, variando entre 30,5ºC em E7-Patos de Minas e 34,1ºC em E3-Unaí, além de ser mês mais quente na média compensada (23,4ºC a 26,9ºC nas mesmas localidades). As menores temperaturas médias compensadas ocorreram entre julho (21,8ºC em E3-Unaí e 21,4ºC em E9-Formoso) e junho (18,9ºC em E7-Patos de Minas, 20,7ºC em E8-Paracatu e 21,8ºC em E3-Unaí), enquanto que as médias mensais de temperatura mínima mais baixas aconteceram no mês julho, de 13,1ºC em E7-Patos de Minas a 15,2ºC em E9-Formoso.

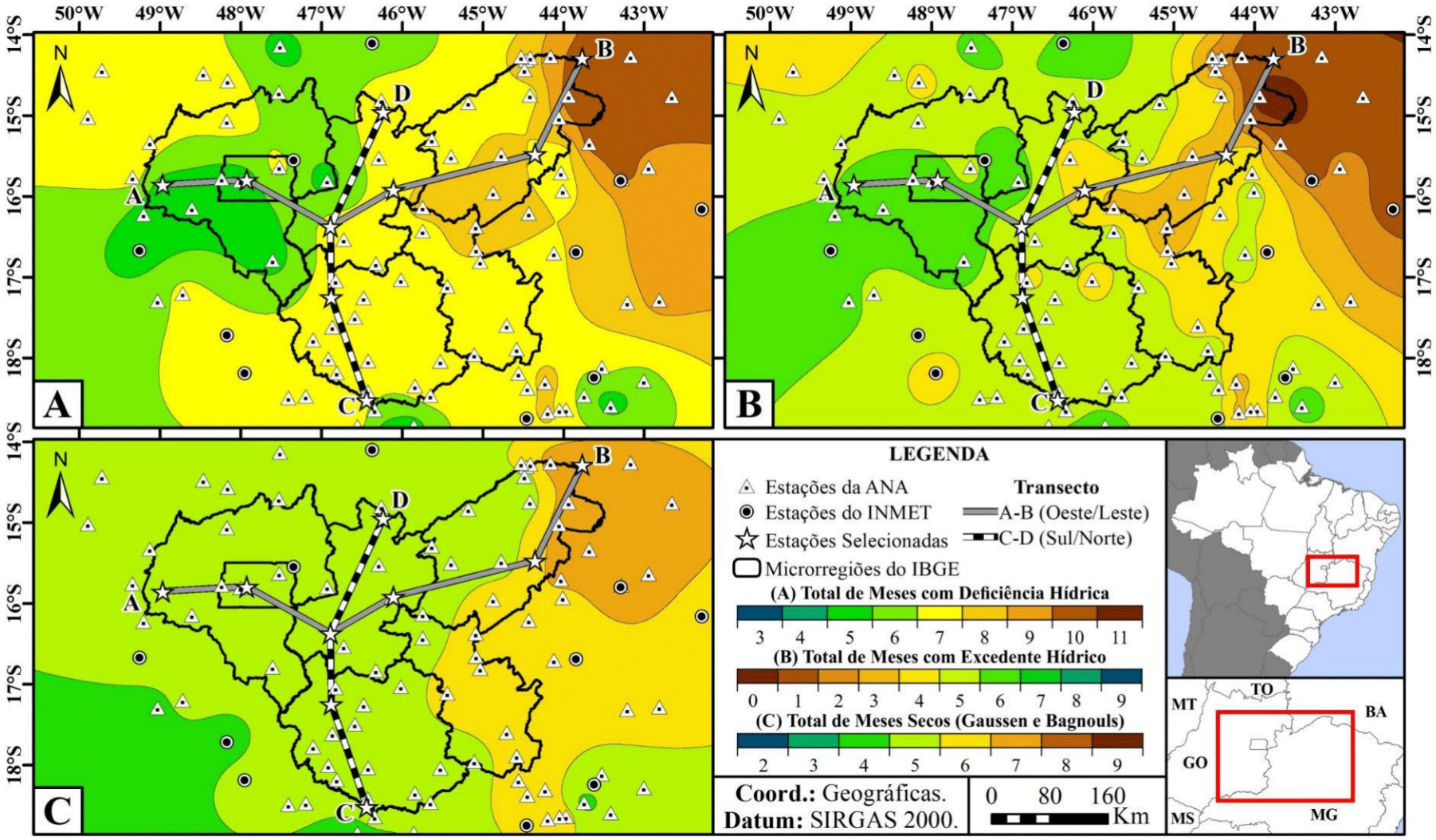
Os dados do BHC dos transectos A-B e C-D (acumulados mensais e total anual de meses com DEF e EXC) indicam que os períodos de estiagem são mais atenuados à oeste e sul e gradualmente mais severo rumo à leste e norte. As informações constantes nos gráficos das Figura 45B e Figura 46B demonstram que o período de estiagem ocorrem de modo diferente nos transectos, pois enquanto a estação de E1-Pirenópolis começa em maio e se estende até setembro (cinco meses) a estação de E7-Patos de Minas inicia-se em abril e se estende até outubro (sete meses). O período de seca aumenta progressivamente em duração e intensidade para as localidades situadas rumo ao norte e, principalmente, à leste, com maior destaque para a estação de E6-Carinhanha que possui dez meses de DEF (janeiro a outubro).

As altas temperaturas presentes no mês de setembro coincidem com o mês de máxima intensidade do período de estiagem em todas as estações dos transectos A-B e C-D, favorecendo que a ET_p desses meses acentue a DEF acumulada mesmo com a baixa pluviosidade. Nesse período a mTa e a mTc aumentam seu poder de atuação nas áreas do interior do Brasil (NIMER, 1989; BORSATO, 2016), imprimindo de modo irregular no espaço e no tempo a intensidade e duração de suas características térmicas (quente), hígricas (seca) e pluviais (baixos volumes), que impactam diretamente nas condições do BHC regional.

A intensidade da estiagem atua diretamente e de modo diferenciado no início do período de EXC nas diferentes estações analisadas. O primeiro mês com a ocorrência de volumes pluviométricos mais expressivos, entre outubro e novembro, possui como característica a reposição de parte da água do solo que sofreu ET_p após o longo período de DEF sem, contudo, gerar EXC significativos.

A reposição de água no solo possibilita que o mês subsequente apresente EXC, ocorrendo em média nos meses de novembro (E1-Pirenópolis, E2-Brasília e E3-Unaí no transecto A-B e E7-Patos de Minas, E3-Unaí e E9-Formoso no transecto C-D) ou dezembro (transecto A-B em E4-Arinos, E5-Januária e E6-Carinhanha, além de E7-Paracatu no transecto C-D). Porém, a distribuição quantitativa da pluviosidade é irregular ao longo do tempo nos diferentes locais, propiciando que a intensidade média dos volumes acumulados mensalmente e a quantidade total de meses de EXC no ano seja heterogênea, com cinco meses de sul para norte e com redução progressiva de oeste (seis meses) para leste (um mês). Essas diferenças podem ser exemplificadas espacialmente nas Figura 47A e 47B.

Figura 47 - Espacialização da soma de meses no ano com (A) Deficiência Hídrico no Solo, (B) Excedente Hídrico no Solo e (C) Secos (Gaussen e Bagnouls) no entorno de Unaí-MG: Médias (1995/1996 a 2014/2015).



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Ao analisar espacialmente a quantidade média de meses secos no entorno de Unaí pela técnica de Gaussen e Bagnouls (Figura 47C) verificou-se que o período de estiagem nas porções à oeste, sul, norte e centro possuem cinco meses, enquanto que grande parte da microrregião de Pirapora possua seis meses. O extremo norte da microrregião de Januária apresenta sete meses secos, o qual representa maior duração do período de estiagem em comparação ao estudo desenvolvido por Nimer (1989), que identificou seis meses secos para a mesma localidade.

As diferenças quantitativas e qualitativas encontradas para as médias mensais de ocorrência de EXC ou DEF e pela quantidade de meses secos (Gaussen e Bagnouls) podem ser explicadas por índices de participação e ritmos de sucessão das massas de ar que ocorrem de modo desigual no decorrer da sazonalidade climática entre as diferentes estações analisadas. Em virtude desse fato, os mecanismos atmosféricos que propiciam a gênese térmica e pluvial em todas as microrregiões condicionaram diretamente as características climáticas identificadas na área de estudo.

5.2.3 Unidades climáticas médias e as áreas produtoras e não produtoras de soja

Dentre as mais antigas atividades vinculadas aos estudos geográficos destaca-se a constante tentativa de descrição e organização dos espaços na superfície terrestre em regiões homogêneas. Diante dessa premissa, uma parte específica dos estudos em climatologia geográfica visa compreender e relacionar os padrões naturais ligados às características espaciais e temporais do clima, buscando diferenciar e compartimentalizar espacialmente seus complexos mecanismos estáticos e dinâmicos a partir dos aspectos estruturantes de escala e sistema.

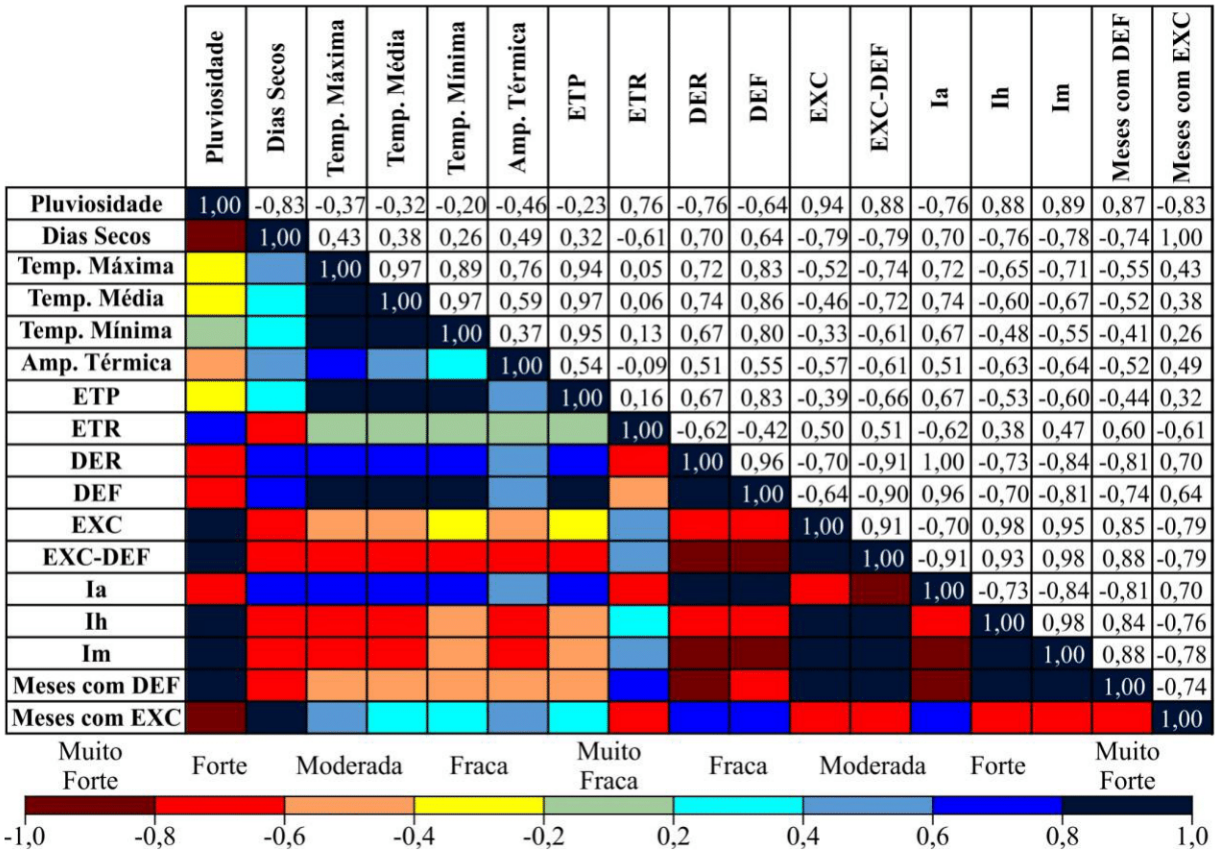
A análise geográfica dos elementos pluviotérmicos e do BHC pode ser melhor compreendida a partir de recortes escalares (espacial e temporal) que possibilitem examinar de forma integrada a manifestação dos seus atributos em superfície. A regionalização de unidades espacialmente delimitadas permitiu entender como as partes (elementos e fatores climáticos) interagiram para caracterizar o comportamento dinâmico e/ou médio do todo (clima), os quais devem ser definidos pelos seus aspectos quantitativos e qualitativos.

Graças ao arcabouço teórico e metodológico propiciado pela Estatística e partindo dos dados quantitativos coletados e aferidos por estações pluviométricas e/ou meteorológicas foi possível aplicar técnicas de Análise Multivariada, como as Análises Fatorial (AF) em Componentes Principais (CP's) e Agrupamento, para reunir localidades com atributos climáticos semelhantes. Essas técnicas foram empregadas nos dados médios anuais de 17 variáveis para 122 estações analisadas, sendo divididas em: precipitação (pluviometria e total de dias secos), temperatura (máxima, média compensada, mínima e amplitude) e BHC

(evapotranspiração potencial [ET_p], evapotranspiração real [ET_r], déficit de evapotranspiração relativa [DER], total de meses no ano com DEF e EXC e seus respectivos acumulados volumétricos anuais, diferença aritmética dos acumulados de EXC e DEF [EXC-DEF], além dos índices de aridez [Ia], hídrico [Ih] e umidade [Im]).

A primeira etapa foi fazer a matriz de correlação de Pearson, com o objetivo de compreender simultaneamente a associação entre as diferentes variáveis climáticas e do BHC (Figura 48).

Figura 48 - Matriz de correlação de Pearson das médias anuais (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) entre 1995/1996 e 2014/2015 no entorno de Unaí-MG.

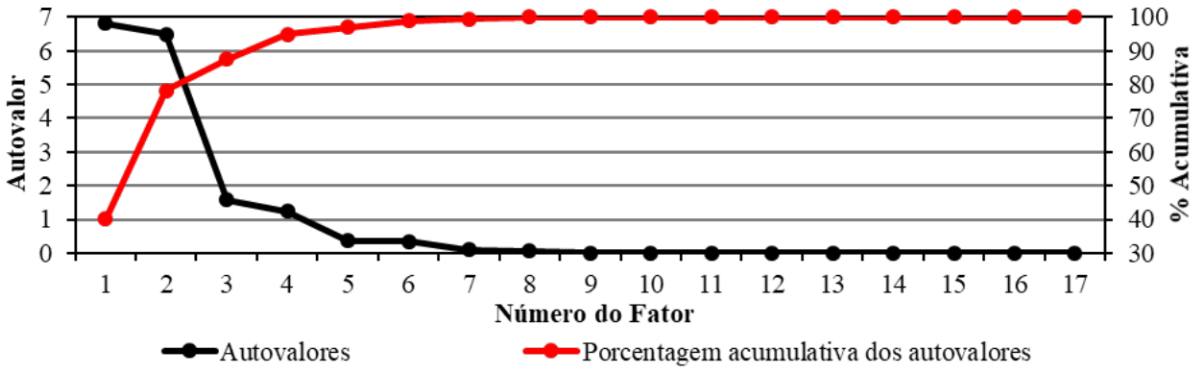


Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos pela matriz de correlação serviram de base para o cálculo da AF em CP's para obtenção de 17 fatores (semelhante ao total de variáveis). Esses fatores foram rotacionados pela técnica de Varimax, com o intuito de maximizar a variação entre os pesos de cada componente principal e possibilitar a melhor interpretação dos resultados.

Como a técnica de AF em CP's possui o propósito de sintetizar o total de variáveis analisadas em uma quantidade menor de fatores, foi empregado o gráfico de *Scree Plot* para delimitar o número de fatores significativos (Figura 49).

Figura 49 - Gráfico de *Scree Plot* dos autovalores após rotação (Varimax): Médias (1995/1996 a 2014/2015).



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao interpretar as curvas de autovalores presentes na Figura 49 e adotar o critério de Kaiser, de utilizar fatores com autovalores (*eigenvalues*) acima de um (BEZERRA, 2007), foram definidos o uso dos quatro primeiros fatores como sendo suficientes para compreender o conjunto de dados analisados, os quais correspondem à inércia explicada acumulada de 94,8% (1º Fator com 40,1%, 2º Fator com 38,1%, 3º Fator com 9,3% e 4º Fator com 7,3% das variâncias explicadas). As cargas fatoriais dos quatro componentes e os valores dos itens comuns para cada variável estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Cargas fatoriais rotacionadas (Varimax), itens comuns e características dos fatores das estações situadas no entorno de Unaí-MG: Médias (1995/1996 a 2014/2015).

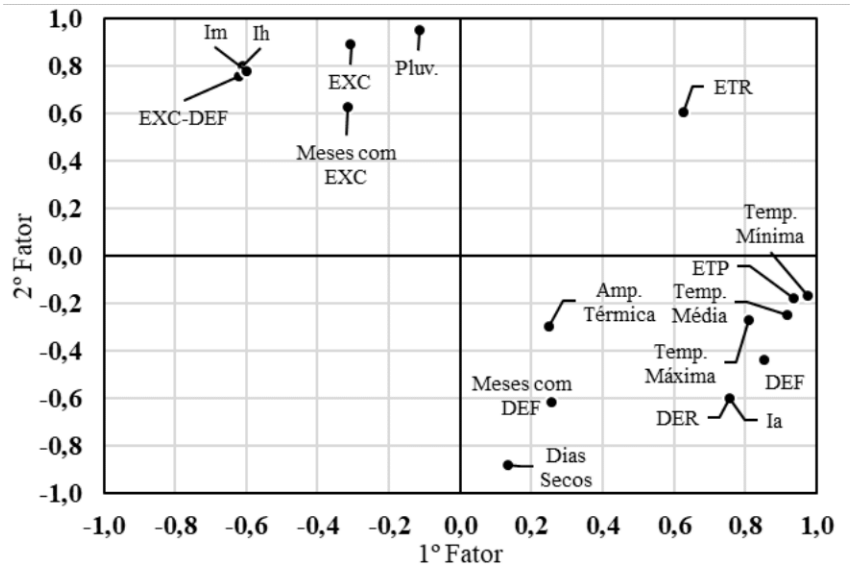
Fator	Pluv.	Dias Secos	Temperatura				ET_p	ET_r	DER	DEF	EXC	EXC-DEF	Ia	Ih	Im	Meses com	
			Máx.	Méd.	Mín.	Amp.										DEF	EXC
1º	-0,12	0,14	0,81	0,92	0,98	0,25	0,94	0,63	0,76	0,85	-0,31	-0,62	0,76	-0,61	-0,60	0,26	-0,32
2º	0,96	-0,88	-0,27	-0,25	-0,16	-0,29	-0,18	0,61	-0,60	-0,44	0,90	0,76	-0,60	0,80	0,78	-0,62	0,63
3º	0,03	-0,15	-0,49	-0,27	-0,03	-0,90	-0,24	-0,46	-0,03	-0,10	0,17	0,15	-0,03	0,25	0,21	-0,19	0,10
4º	0,24	-0,12	-0,13	-0,12	-0,09	-0,14	-0,13	0,17	-0,23	-0,23	0,21	0,24	-0,23	0,17	0,19	-0,69	0,67
Comum	0,98	0,83	0,99	0,99	0,99	0,97	0,98	0,94	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,98	0,99	0,95	0,95
Atributos:	1º Fator (Térmico):		+	-	2º Fator (Hídrico):		+	-	3º Fator (Amp. Tér.):			-	4º Fator (Estiagem):			+	-

Fonte: elaborado pelo autor.

É possível identificar na Tabela 12 que somente uma variável possuiu valor de item comum de 0,83 (Total de Dias Secos), enquanto as demais alcançaram valores a partir de 0,94 (quanto mais próximo os valores das cargas fatoriais estiverem de 1, maior é a capacidade do fator em explicar a variável). Os valores ±0,6 das cargas fatoriais são os que possuem maior significância em cada fator, tendo os valores negativos a associação inversamente proporcional entre o componente e a variável (características próximas ao que foi apresentada na matriz de correlação da Figura 48).

Os dados da Tabela 12 e a interpretação da dispersão das cargas fatoriais dos dois primeiros componentes (Figura 50) possibilitam resumir as principais características médias dos atributos pluviotérmicos e do BHC.

Figura 50 - Gráfico de dispersão das cargas fatoriais (1º e 2º fatores) rotacionadas (Varimax): Média Anuais (1995/1996 a 2014/2015).



Fonte: elaborado pelo autor.

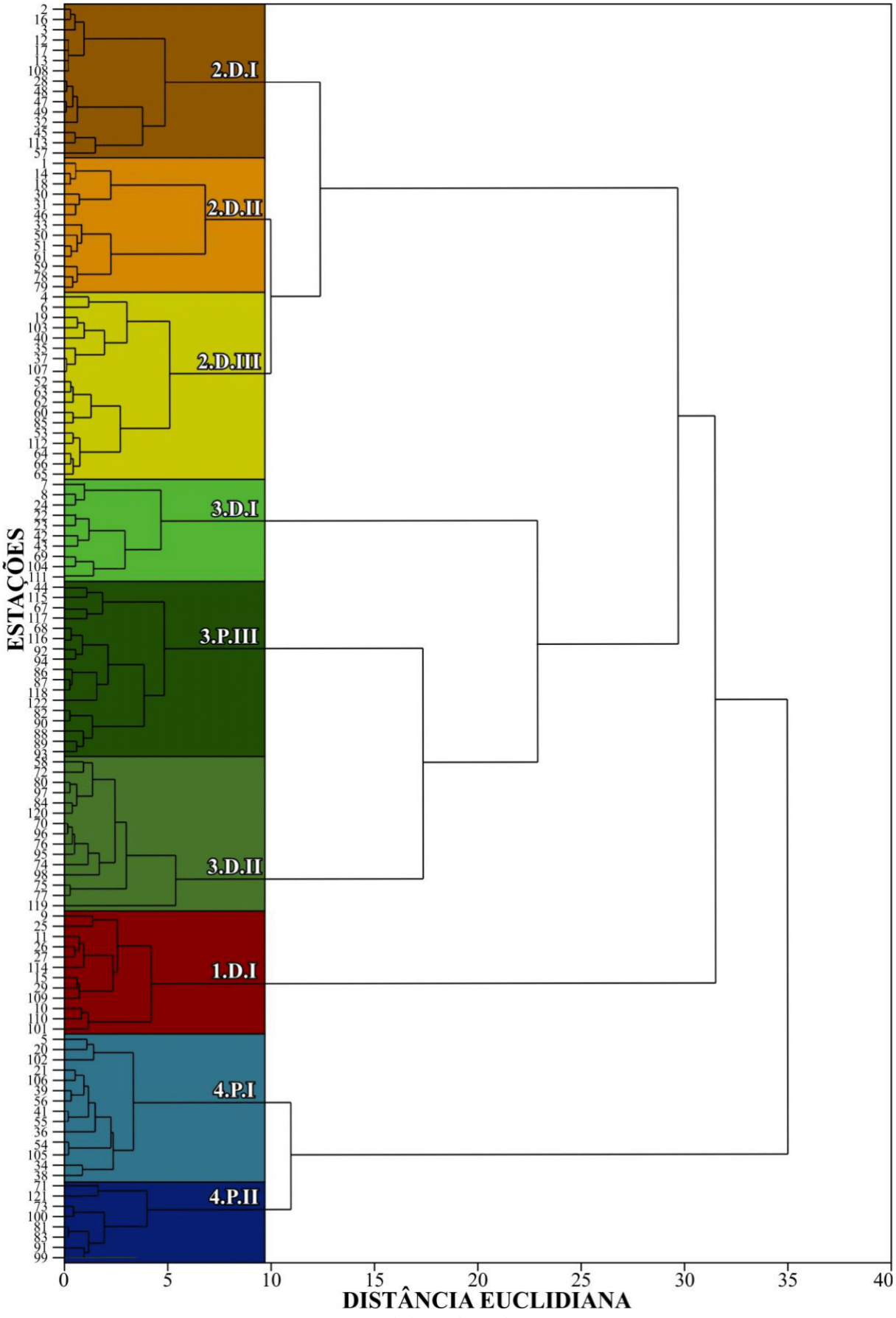
É possível constatar que as variáveis com correlações positivas (temperaturas máxima, média e mínima, ET_p, ET_r, DER, DEF e Ia) e negativas (EXC-DEF, Ih e Im) presentes no 1º Fator possibilitam associá-lo às variáveis Térmicas.

O 2º Fator está relacionado as variáveis Hídricas em razão das correlações positivas com a Pluviosidade, ET_r, EXC, EXC-DEF, Ih, Im e meses com EXC, e negativas com DER, Ia e meses com DEF.

O 3º Fator explica somente as diferenças de Amplitude Térmica, enquanto que o 4º Fator reúne as correlações ligadas à sazonalidade climática, tendo o valor positivo para quantidade de meses de EXC e a relação inversamente proporcional aos meses com DEF.

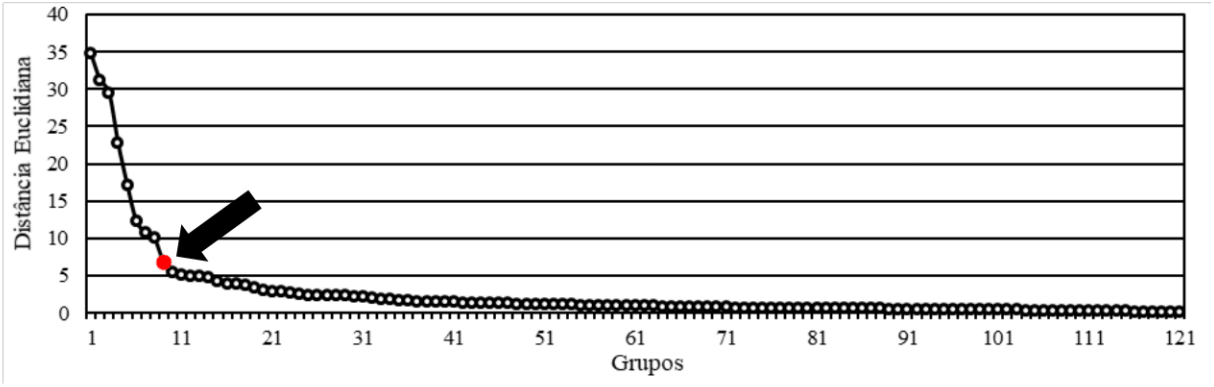
A identificação das localidades pertencentes a cada unidade climática foi realizada pela técnica de Análise de Agrupamento (AA), a partir do cálculo individual dos coeficientes de escores de cada um dos quatro fatores (Apêndice T, p. 301) para as 122 estações (Apêndice U, p. 301), com o objetivo de reunir em grupos estatisticamente homogêneos as estações com condições climáticas semelhantes. A definição do total de grupos foi feita pela interpretação do gráfico de Curva de Inércia Intra-grupos (Figura 51) e na análise do dendograma (Figura 52), os quais possibilitaram sintetizar as 17 variáveis climáticas analisadas em nove grupos.

Figura 52 - Dendograma (unidades climáticas): Médias (1995/1996 a 2014/2015).



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 51 - Curva de Inércia Intra-grupos: total de unidades climáticas: Médias (1995/1996 a 2014/2015).



Fonte: elaborado pelo autor.

A identificação dos nove agrupamentos pertencentes a cada estação pluviométrica ou meteorológica (dendograma) com suas respectivas características espaciais (atributos geográficos e climáticos), permitiu que as unidades climáticas fossem divididas em quatro grupos macroescalares: 1, 2, 3 e 4. Os macrogrupos foram fracionados e categorizados conforme a compartimentação altimétrica predominante: áreas de depressão (D) ou planalto (P). Por fim, foi realizada a delimitação das subunidades climáticas de menor escala (I a III) através da interpretação espacial da altimetria semelhante entre as localidades de um mesmo grupo e os principais contrastes topográficos entre os grupos adjacentes (Figura 53).

É importante destacar que a organização espacial das unidades climáticas e as suas características (Quadro 9), não visa determinar uma hierarquia regional entre a nomenclatura adotada e os aspectos quantitativos e qualitativos dos atributos climáticos de cada unidade.

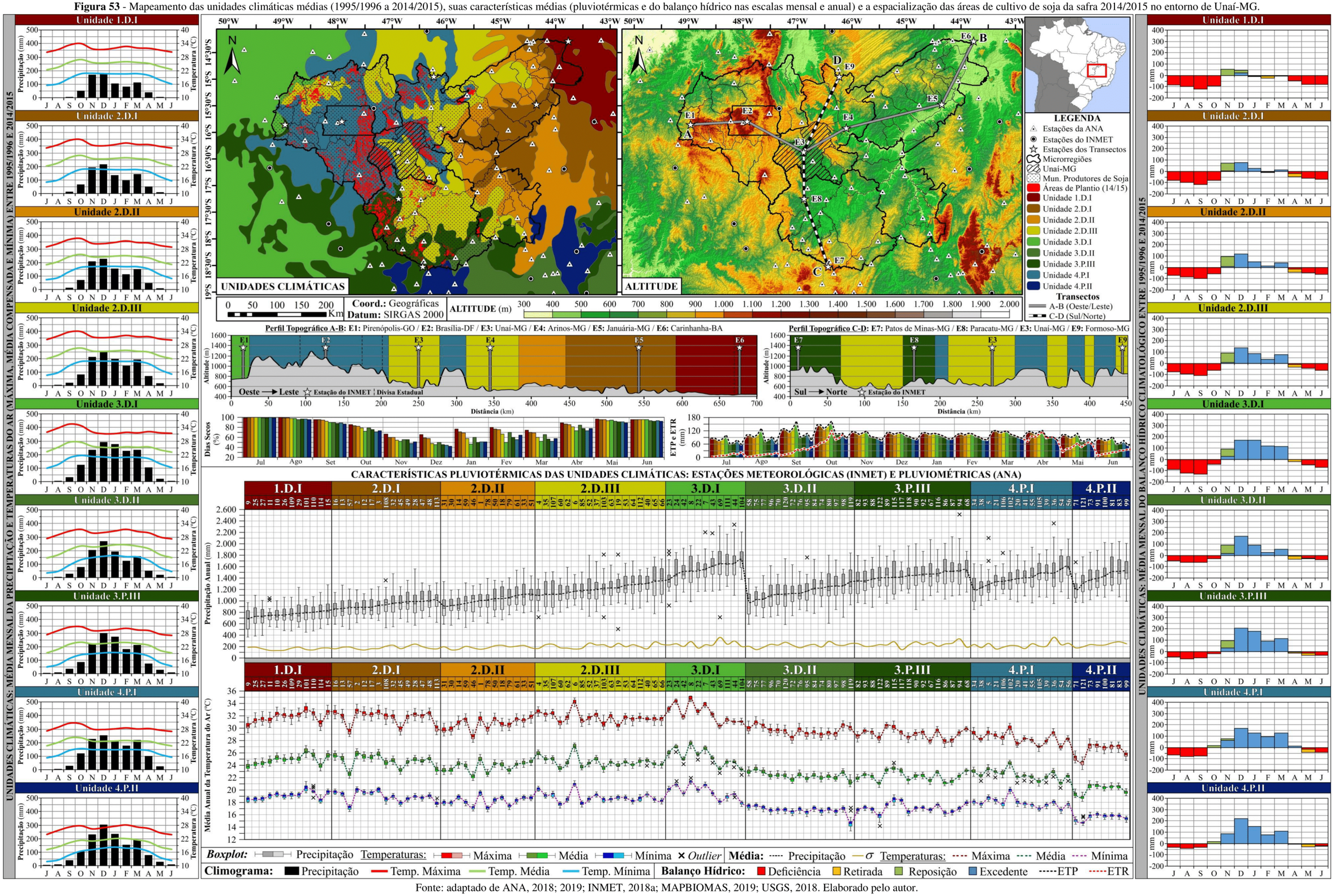
A área ocupada pelas unidades climáticas médias nas microrregiões analisadas (Tabela 13) possibilitou constatar a maior presença das classes 4.P.I (31%) e 2.D.III (29,7%), seguidas das classes 2.D.II (14%), 2.D.I (10,3) e 3.P.III (9,6%). As demais classes 1.D.I (2,2%), 3.D.II (1,4%), 3.D.I (1,2%) e 4.P.II (0,6%), representam 5,4% da área de estudo.

Tabela 13 - Área das unidades climáticas médias nas microrregiões do entorno de Unaí-MG

Microrregiões		**Área ocupada pelas unidades climáticas médias (%)**									**Área Total**	
		1.D.I	**2.D.I**	**2.D.II**	**2.D.III**	**3.D.I**	**3.D.II**	**3.P.III**	**4.P.I**	**4.P.II**	**%**	**Km²**
Brasília		-	-	-	-	-	-	-	3,6	-	3,6	5.851
Entorno de Brasília		-	-	-	5,3	1,2	-	0,2	16,8	-	23,5	38.197
Januária		2,2	8,0	6,5	3,4	-	-	-	0,4	-	20,5	33.321
Paracatu		-	0,0	0,3	10,4	-	1,4	7,8	1,3	0,2	21,4	34.784
Pirapora		-	2,3	6,6	3,0	-	-	1,6	0,2	0,4	14,1	22.918
Unaí		-	0,0	0,6	7,6	-	-	-	8,7	-	16,9	27.469
Área	**%**	**2,2**	**10,3**	**14,0**	**29,7**	**1,2**	**1,4**	**9,6**	**31,0**	**0,6**	**100,0**	**-**
Total	**Km²**	**3.576**	**16.742**	**22.756**	**48.274**	**1.950**	**2.276**	**15.604**	**50.387**	**975**	**-**	**162.540**

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 53 - Mapeamento das unidades climáticas médias (1995/1996 a 2014/2015), suas características médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico nas escalas mensal e anual) e a espacialização das áreas de cultivo de soja da safra 2014/2015 no entorno de Unaí-MG.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; 2019; INMET, 2018a; MAPBIOMAS, 2019; USGS, 2018. Elaborado pelo autor.

Quadro 9 - Aspectos estatísticos das unidades climáticas médias no entorno de Unaí-MG.

Nº.	Estatística descritiva dos atributos do clima empregados na análise multivariada.		UNIDADES CLIMÁTICAS								
			1.D.I	2.D.I	2.D.II	2.D.III	3.D.I	3.D.II	3.P.III	4.P.I	4.P.II
1	Média Anual da Pluviosidade (mm)	Máximo	828,1	1013,6	1116,9	1351,1	1714,8	1331,9	1534,1	1595,7	1531,4
		Média	762,7	933,1	1011,5	1211,4	1565,2	1154,8	1442,7	1397,0	1407,2
		Mínimo	679,2	850,7	908,7	1092,4	1375,7	982,7	1343,2	1199,2	1202,5
2	Média do Total de Dias no Ano com Precipitação Menor que 1mm (%)	Máximo	92,3	85,5	84,7	79,7	76,7	81,6	81,9	79,5	77,0
		Média	84,0	82,2	82,1	76,7	72,3	77,8	73,1	71,7	73,1
		Mínimo	76,7	75,9	80,3	71,2	63,6	69,6	67,7	66,0	69,6
3	Média Anual da Temperatura Máxima do Ar (ºC)	Máximo	32,9	32,7	31,8	34,2	34,8	30,9	30,4	30,0	27,2
		Média	31,8	31,7	30,7	31,7	32,4	29,6	29,1	28,3	26,3
		Mínimo	30,4	29,5	28,6	30,4	30,3	28,4	27,9	26,9	24,5
4	Média Anual da Temperatura Média Compensada do Ar (ºC)	Máximo	26,2	25,9	25,0	27,0	27,5	23,4	23,5	24,3	20,8
		Média	24,9	24,7	23,8	24,6	25,3	22,3	22,3	22,5	20,1
		Mínimo	23,8	22,6	22,2	23,5	23,3	21,2	21,1	21,1	18,8
5	Média Anual da Temperatura Mínima do Ar (ºC)	Máximo	20,4	20,0	19,5	20,9	21,4	17,5	18,5	20,0	16,1
		Média	19,1	18,9	18,2	18,8	19,7	16,7	17,1	17,9	15,6
		Mínimo	18,4	17,2	17,1	17,7	17,9	14,7	15,8	16,8	14,8
6	Média Anual da Amplitude Térmica (ºC)	Máximo	13,0	13,5	13,4	13,4	13,5	15,4	12,7	11,2	11,4
		Média	12,7	12,8	12,5	12,9	12,7	12,9	12,0	10,4	10,7
		Mínimo	11,9	12,0	11,5	11,6	11,7	11,9	11,0	9,4	9,7
7	Média Mensal Acumulada da Evapotranspiração Potencial no Ano (mm)	Máximo	1582,8	1511,7	1364,0	1760,9	1885,2	1166,8	1181,8	1276,9	943,3
		Média	1361,0	1338,4	1214,3	1320,4	1459,1	1065,6	1061,0	1083,7	903,4
		Mínimo	1215,2	1085,5	1049,5	1179,0	1157,3	978,0	968,4	967,6	834,0
8	Média Mensal Acumulada da Evapotranspiração Real no Ano (mm)	Máximo	804,2	862,2	833,3	987,0	1064,7	868,5	886,6	861,8	799,9
		Média	743,6	813,8	785,5	865,1	956,9	799,9	821,9	796,4	764,4
		Mínimo	658,9	747,0	714,7	802,2	871,4	753,5	759,2	759,6	685,3
9	Média Anual do Déficit de Evapotranspiração Relativa (%)	Máximo	50,3	44,7	40,3	43,9	43,5	30,0	28,9	32,5	17,8
		Média	45,2	38,9	35,2	34,1	33,4	24,8	22,4	26,3	15,4
		Mínimo	38,0	31,2	29,9	29,4	22,5	15,5	14,8	21,5	11,7
10	Média Mensal Acumulada de Deficiência Hídrica no Solo no Ano (mm)	Máximo	795,5	675,1	549,5	773,9	820,6	349,6	341,9	415,1	160,7
		Média	617,4	524,6	428,8	455,3	502,1	265,7	239,1	287,3	139,0
		Mínimo	467,7	338,5	327,1	347,0	264,1	151,5	143,6	208,0	102,3
11	Média Mensal Acumulada de Excedente Hídrico no Solo no Ano (mm)	Máximo	52,2	247,4	285,1	499,1	843,5	505,4	709,0	797,1	758,1
		Média	20,8	121,3	229,9	347,4	608,2	354,9	620,8	600,5	646,4
		Mínimo	0,0	32,7	153,4	177,5	438,3	192,2	517,0	422,4	491,9
12	Diferença Entre as Médias Anuais de Excedente e Deficiência Hídrica (mm)	Máximo	-415,5	-146,8	-69,4	103,7	557,6	353,9	538,5	585,6	655,8
		Média	-596,6	-403,3	-198,9	-107,9	106,1	89,2	381,7	313,2	507,4
		Mínimo	-795,5	-628,7	-364,1	-596,4	-368,2	-146,2	231,2	74,7	343,2
13	Balanço Hídrico: Índice de Aridez (Ia)	Máximo	46,7	44,7	40,3	43,9	43,5	0,3	0,3	31,7	0,2
		Média	30,2	32,0	25,3	12,6	26,8	0,2	0,2	15,6	0,2
		Mínimo	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1
14	Balanço Hídrico: Índice Hídrico (Ih)	Máximo	2,3	18,4	25,1	31,6	57,1	0,5	0,7	66,9	0,9
		Média	0,8	6,4	12,9	7,2	26,9	0,3	0,6	29,5	0,7
		Mínimo	0,0	0,1	0,1	0,2	0,5	0,2	0,5	0,4	0,6
15	Balanço Hídrico: Índice de Umidade (Im)	Máximo	C1	C2	C2	B1	B2	B2	B3	B3	B3
		Média	C1	C1	C1	C2	B1	C2	B2	B2	B3
		Mínimo	C1	C1	C1	C1	C1	C1	B1	C2	B2
16	Média do Total Anual de Meses com Déficit Hídrico no Solo	Máximo	10,0	9,0	7,0	7,0	7,0	8,0	7,0	7,0	6,0
		Média	9,6	8,0	7,0	7,0	6,5	7,1	7,0	5,6	5,4
		Mínimo	9,0	7,0	7,0	7,0	5,0	6,0	7,0	5,0	5,0
17	Média do Total Anual de Meses com Excedente Hídrico no Solo	Máximo	2,0	4,0	5,0	5,0	6,0	5,0	5,0	6,0	6,0
		Média	1,0	2,9	4,7	4,6	4,9	4,5	4,9	5,8	5,6
		Mínimo	0,0	2,0	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	5,0	5,0

Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

As classes climáticas proporcionalmente predominantes em cada microrregião são: Brasília com 4.P.I (100%); Entorno de Brasília com 4.P.I (71,5%) e 2.D.III (22,6%); Januária com 2.D.I (39%) e 2.D.II (31,7%); Paracatu com 2.D.III (48,6%) e 3.P.III (36,4%); Pirapora com 2.D.II (46,8%) e 2.D.III (21,3%); e Unaí com 4.P.I (51,5%) e 2.D.III (45%).

Ao correlacionar a altimetria regional com as unidades climáticas (Tabela 14) percebe-se a presença de um gradiente linear formado entre as médias das menores (1.D.I, com 466m) e maiores altitudes (1.027m), que representam uma diferença de 561m. As médias de amplitude altitudinal interna entre as classes mesoescalares, correspondentes às áreas de depressão (D) e planalto (P), são muito próximas, na ordem de 255m e 223m, respectivamente.

Tabela 14 - Altitude das unidades climáticas médias nas microrregiões do entorno de Unaí.

Microrregiões	**Altitude média das unidades climáticas médias (m)**									**Média**
	1.D.I	**2.D.I**	**2.D.II**	**2.D.III**	**3.D.I**	**3.D.II**	**3.P.III**	**4.P.I**	**4.P.II**	**(m)**
Brasília	-	-	-	-	-	-	-	1.034	-	1.034
Entorno de Brasília	-	-	-	651	701	-	866	932	-	615
Januária	466	537	668	768	-	-	-	831	-	705
Paracatu	-	494	566	615	-	721	802	838	915	644
Pirapora	-	547	598	662	-	-	808	843	1.085	755
Unaí	-	513	585	630	-	-	-	876	-	857
Média (m)	**466**	**540**	**629**	**647**	**701**	**721**	**804**	**922**	**1.027**	**733**

Fonte: adaptado de USGS, 2018. Elaborado pelo autor.

As unidades climáticas 1.D.I, 2.D.I, 2.D.II, situadas na porção leste, possuíram as menores cotas altimétricas da área de estudo. A interpretação dos fatores climáticos possibilitou inferir que as temperaturas elevadas nessas unidades são resultantes de duas forças que atuam para aquecer o ar por compressão mecânica (adiabática): (1) o movimento descendente do ar em direção às áreas deprimidas da bacia do Rio São Francisco (vertente sotavento) e (2) a maior atuação da mTa que produz a subsidência do ar dos estratos superiores da atmosfera (movimento anticiclônico). Esses fatores também contribuem para redução da capacidade de formação de nebulosidade por convecção e impactaram nos menores volumes pluviométricos anuais e na maior quantidade de dias secos. A relação entre elevada temperatura e baixa pluviosidade influenciou as médias de ET_p, ET_r e DER e, consequentemente, no menor EXC e maior DEF que prolongaram e intensificaram o período de estiagem (até nenhum mês de EXC em algumas localidades, valor superior ao encontrado por Nimer e Brandão [1989]).

As características das unidades 2.D.III, 3.D.I e 3.D.II foram definidas como pertencentes a áreas de transição climática, pois as alterações graduais dos seus atributos climáticos apresentam particularidades em relação às demais unidades.

A unidade 2.D.III corresponde a interface altimétrica entre as áreas mais elevadas (unidades 3.P.III, 4.P.I e 4.P.II) e as áreas mais deprimidas de parte das bacias hidrográficas do Araguaia-Tocantins na porção norte e, principalmente, do São Francisco na porção centro-leste (unidade 2.D.II). Essa condição resulta na formação de um gradiente de oeste para leste que corresponde, respectivamente, as reduções da pluviosidade e EXC, aliado ao aumento das temperaturas, do total mensal de dias secos, da DEF e da intensidade da estiagem. Além desses aspectos, os dados de EXC-DEF permitiram identificar que essa região possui a divisão entre as áreas que apresentam como síntese anual do BHC o acúmulo predominante de EXC ou DEF (Figura 38, p. 107), atrelado a terceira maior amplitude pluviométrica (258,7mm) e a segunda maior diferença na temperatura média compensada (3,5ºC) entre as unidades climáticas. Essas características devem estar relacionadas ao poder de influência de diferentes massas de ar de origem tropical (mTa e mTc), equatorial (mEc) e extratropical (mPa e SF), que atuam de modo heterogêneo no tempo e no espaço ao longo das sazonalidades climáticas nessa região.

A unidade 3.D.I está situada no extremo oeste e mesmo estando regionalmente em cotas altimétricas inferiores e com temperaturas superiores em relação às classes 1.D.I, 2.D.I, 2.D.II e 2.D.III, apresenta os mais elevados totais pluviométricos acumulados entre todas as unidades delimitadas. As características térmicas e geográficas possibilitam que essa unidade tenha os maiores valores médios de ET_p e ET_r, que resultam na terceira maior DEF acumulada mensalmente e impactam diretamente no rigoroso período de estiagem (maio a outubro). Essas condições médias indicam que a circulação geral da atmosfera exerce importante influência na contribuição da gênese climática nessas localidades, constituindo, possivelmente, um espaço com maior participação da mTc no período de estiagem e da mEc no período chuvoso (BORSATO, 2016). A maior ocorrência da mEc no período chuvoso pode explicar a razão do mês de fevereiro possuir os maiores quantitativos de pluviosidade e EXC em comparação às demais unidades climáticas, pois o padrão climático predominante na região caracteriza-se como um mês “mais seco” dentro da estação úmida (Figuras 41 a 44, p. 111-114).

A última unidade de transição, 3.D.II, está presente na porção sul e possui condições pluviotérmicas muito contrastantes, ao apresentar características típicas das unidades 2.D.II e 2.D.III, porém com peculiaridades próprias como a maior amplitude pluviométrica (349,2mm), as médias mais baixas de temperaturas (máxima, médias e mínima) e a mais alta amplitude térmica anual (até 15,4ºC) em áreas de depressão. Essas condições fazem com que a ET_p e DER sejam baixas em comparação às localidades de menor altitude, favorecendo com maiores quantidades volumétricas e de meses de EXC em detrimento das DEF. A união desses atributos climáticos indica a possibilidade da maior presença de sistemas extratropicais (mPa e SF) na

região, tanto no período seco como chuvoso (BORSATO, 2016), sobretudo por contribuírem com as médias mais baixas de temperatura associadas à precipitação necessária para favorecer os totais anual e mensal de EXC.

As maiores altitudes localizam-se nas Unidades 3.P.III, 4.P.I e 4.P.II e correspondem aos menores valores de temperaturas do ar em relação às áreas mais deprimidas das Unidades 1.D.I, 2.D.I, 2.D.II. A topografia mais elevada também contribui na elevação forçada do ar e no seu resfriamento por expansão mecânica (adiabática), auxiliando na formação de nebulosidade e aproximando a parcela de ar do ponto de saturação, favorecendo, desse modo, a precipitação regional. Borsato (2016) destaca que a sazonalidade da circulação das massas de ar nessas localidades propicia maior atuação da mTc à oeste e sul, da mEc à oeste e norte e o avanço da mPa e dos SF ao sul, sendo os três últimos sistemas fundamentais na gênese pluvial, principalmente em episódios de formação de ZCOU e/ou ZCAS. Os fatores estáticos e dinâmicos do clima contribuem para que a ET_p e ET_r propiciem maior quantidade média anual de EXC acumulado e maior quantidade de meses de EXC, como pode ser observado pelos valores anuais de DER. Essa configuração pluviotérmica possibilita que as unidades climáticas possuam menos dias secos no período chuvoso e que o período de estiagem seja mais curto nas unidades 4.P.I e 4.P.II (cinco meses) em comparação com as Unidades 1.D.I, 2.D.I, 2.D.II.

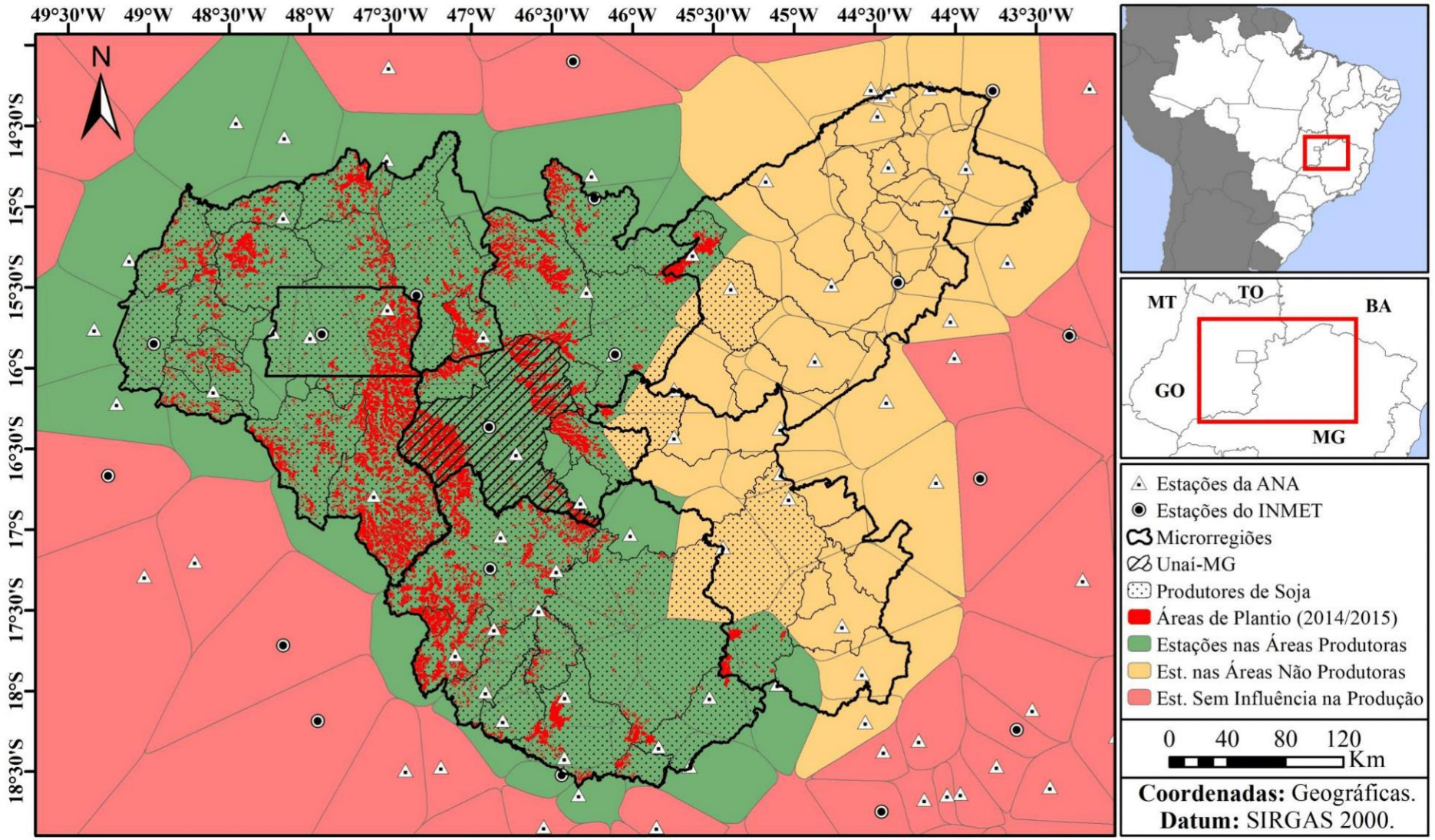
Ao comparar as localidades que possuíam áreas destinadas ao plantio de soja no ano agrícola 2014/2015 (máxima expansão territorial) em relação a todas as microrregiões (Figura 53), verificou-se que 36 municípios localizados nas microrregiões de Paracatu, Pirapora, Unaí e, sobretudo, Januária não tinham produção agrícola dessa importante cultura agrícola regional.

A partir dessa constatação foi feito o seguinte questionamento: as características médias do clima podem explicar parcialmente a não ocorrência de lavouras de soja em determinadas localidades da área de estudo por limitarem ou não favorecerem o pleno desenvolvimento dos cultivos? Se sim, quais são as condições climáticas médias nas áreas produtoras e não produtoras que podem explicar a falta de atividades agrícolas contínuas ligadas à produção de soja nas localidades situadas na porção centro-leste?

Partindo dessas indagações foi delimitada a abrangência espacial máxima das estações meteorológicas e pluviométricas pela técnica do Diagrama de Voronoi, com o objetivo de identificar as estações que conseguissem representar a influência climática nas áreas produtoras e não produtoras nas seis microrregiões analisadas (Figura 54).

Foram encontradas 42 estações em áreas produtoras, 27 estações em áreas não produtoras e 53 estações que não estão inseridas nas microrregiões e também não representam as características climáticas das áreas produtoras e não produtoras.

Figura 54 - Abrangência da área de influência das estações em relação às áreas de cultivo de soja no entorno de Unaí-MG.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Ao cruzar as informações das áreas produtoras e não produtoras de soja com as unidades climáticas médias (Tabela 15) foi possível identificar que a ampla maioria das estações (60,9% das 69 estações) estão localizadas em áreas produtoras, as quais, por sua vez, estão inseridas nas unidades climáticas médias 2.D.III a 4.P.II. Já as estações em localidades não produtoras de soja (39,1%) estão situadas nas unidades climáticas médias 1.D.I a 2.D.III.

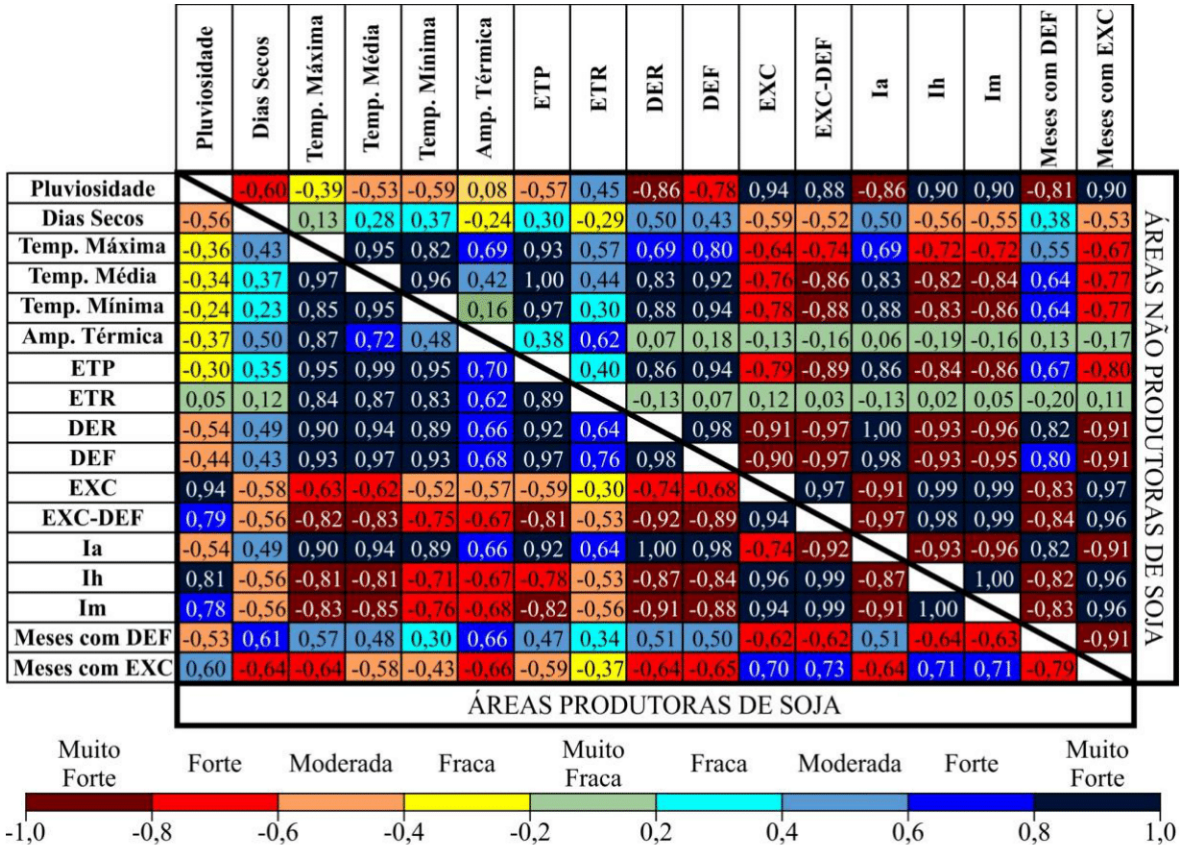
Tabela 15 - Total de estações meteorológicas e pluviométricas nas áreas produtoras e não produtoras de soja e suas relações com as unidades climáticas médias no entorno de Unaí-MG

Estação em Área Produtora	Unidades climáticas médias									Total
	1.D.I	2.D.I	2.D.II	2.D.III	3.D.I	3.D.II	3.P.III	4.P.I	4.P.II	
Não	7,2%	14,5%	15,9%	1,4%	-	-	-	-	-	39,1%
Sim	-	-	-	21,7%	7,2%	2,9%	11,6%	15,9%	1,4%	60,9%
Total	**7,2%**	**14,5%**	**15,9%**	**23,2%**	**7,2%**	**2,9%**	**11,6%**	**15,9%**	**1,4%**	**100,0%**

Fonte: elaborado pelo autor.

Ao comparar as correlações estatísticas das 17 variáveis empregadas nas Análises Multivariadas para as estações em áreas produtoras e não produtoras de soja (Figura 55), percebe-se algumas diferenças, as quais serão destacadas para as áreas não produtoras:

Figura 55 - Matriz de correlação de Pearson das médias anuais (pluviotérmicas e balanço hídrico) das estações em áreas produtoras e não produtoras de soja no entorno de Unaí-MG.



Fonte: elaborado pelo autor.

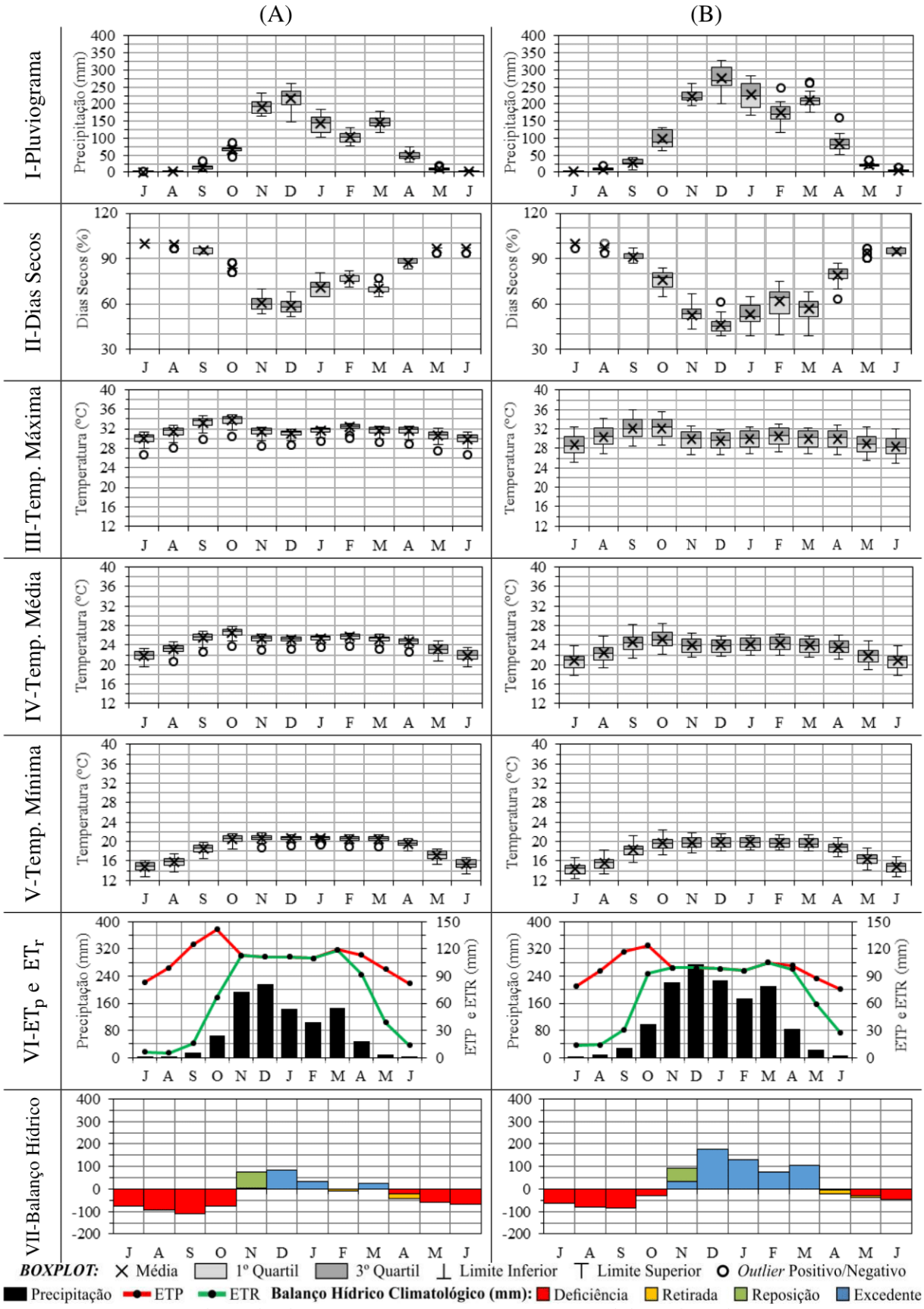
a) a Pluviosidade teve redução das correlações em oito variáveis, com ênfase para intensificação das correlações negativas fortes (Dias Secos e DEF) e muito fortes (DER, Ia e Meses de DEF). Em contraposição houve o acréscimo das correlações em quatro variáveis, através do aumento das correlações positivas forte para ET_r e muito forte para EXC-DEF, Im e Meses de EXC;
b) houve aumento das correlações negativas muito forte de EXC com DER, DEF e Ia;
c) a ET_r e a Amplitude Térmica tiveram robustas alterações nas correlações em quase todas as variáveis analisadas, com destaque na mudança para as correlações muito fracas em quase todas as variáveis do BHC (DER a meses de EXC);
d) o principal destaque fica por conta da intensificação das correlações dos Meses de EXC e DEF, além daquelas já mencionadas na variável de Pluviosidade. Os Meses de EXC tiveram redução nas correlações negativas em 43,8% das variáveis, através da intensificação das classes forte com Temperatura Média Compensada, Temperatura Mínima e ET_p, além de muito forte em DER, DEF, Ia e Meses com DEF. O aumento das correlações positivas ocorreu somente na classe muito forte para as variáveis EXC, EXC-DEF, Ih e Im;
e) nos meses de DEF houve aumento de 37,5% das correlações positivas, através da intensificação das classes forte (Temperaturas Média Compensada e Mínima, ET_p e DEF) e muito forte (DER e Ia). As diminuições das correlações negativas ocorreram em cinco variáveis, passando de forte para muito forte nas variáveis de EXC, EXC-DEF, Ih, Im e Meses com EXC.

Quando são analisadas as características médias mensais da pluviosidade (pluviograma e total de dias secos), temperatura do ar (máxima, média compensada e mínima) e do BHC (ET_p, ET_r e totais acumulados) das áreas não produtoras (Figura 56A) e produtoras (Figura 56B) de soja no entorno de Unaí fica evidente as disparidades regionais.

A média do acumulado anual da precipitação nas diferentes áreas ($\bar{x}_A$= 950,6mm e $\bar{x}_B$= 1.358,3mm) resultou na diferença pluviométrica de 407,7mm (Δ=30%). A dispersão dos dados e as médias mensais de chuva demonstram que as maiores amplitudes estão situadas no decorrer do período chuvoso (outubro a abril) e possuem diferenças significativas, principalmente, em dezembro (Δ=58,8mm), janeiro (Δ=83,7mm), fevereiro (Δ=69,3mm) e março (Δ=63,2mm).

Durante o período chuvoso as áreas não produtoras (II-A) possuem maiores médias mensais de total de dias secos em comparação às áreas produtoras (II-B), especialmente de novembro a março (médias de 60,7%, 58,7%, 70,8%, 76,7% e 70,1%, respectivamente).

Figura 56 - Média mensal dos elementos pluviotérmicos e do balanço hídrico das (A) Áreas Não Produtoras e (B) Áreas Produtoras de soja nas microrregiões do entorno de Unaí-MG.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Em paralelo, os meses de novembro a março nas áreas produtores de soja representaram a média de 52,4%, 46,2%, 53,4%, 61,7% e 56,9% do total de dias secos, indicando diferenças consideráveis entre as áreas não produtoras (II-A) e produtoras (II-B). As diferenças encontradas nos valores médios de dias secos no mês indicam que o maior período sem chuvas nas áreas não produtoras (II-A) limitariam o desenvolvimento de cultivares que adotam práticas de plantio por técnica de sequeiro ou com pouca irrigação, em razão desses métodos terem como principal característica a forte dependência da constante regularidade de oferta dos insumos pluviais ao longo do crescimento vegetativo das plantas.

As médias das temperaturas anuais máxima (III), média compensada (IV) e mínima (V) entre as áreas não produtoras (A) e produtoras (B) foram, respectivamente, de 31,5ºC e 30,1ºC (Δ=1,4ºC), 24,5ºC e 23,3ºC (Δ=1,2ºC) e 18,7ºC e 18,1ºC (Δ=0,7ºC). Ao comparar os dados de meses mais quentes e frios para as três variáveis térmicas analisadas (Tabela 16 Figuras 56A/B) fica evidente que as áreas não produtoras (A) foram mais quentes que as áreas produtoras (B). Os motivos para essas diferenças já foram explicitados anteriormente nas discussões da influência dos fatores estáticos (altitude, topografia, continentalidade, etc.) e dinâmicos (provável predominância de atuação dos sistemas atmosféricos) no clima regional.

Tabela 16 - Meses mais frios e quentes das médias de temperatura do ar máxima, média compensada e mínima das áreas não produtoras e produtoras de soja no entorno de Unaí-MG

Área produtora de soja	Temperatura do Ar	Mês mais quente		Mês mais frio		Amplitude térmica (ºC)
		Média (ºC)	Mês	Média (ºC)	Mês	
Não	Máxima	33,7	Out.	29,9	Jun.	3,8
	Média Compensada	26,6	Out.	21,8	Jun.	4,8
	Mínima	20,7	Nov./Dez.	14,9	Jul.	5,8
Sim	Máxima	32,1	Set./Out.	28,4	Jun.	3,7
	Média Compensada	25,2	Out.	20,8	Jun./Jul.	4,4
	Mínima	19,8	Dez./Jan./Fev.	14,4	Jul.	5,4
Diferença térmica entre as áreas	Máxima	1,6	-	1,5	-	0,1
	Média Compensada	1,4	-	1,0	-	0,4
	Mínima	0,9	-	0,5	-	0,4

Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Essas desigualdades são nítidas ao avaliar as médias mensais das temperaturas máxima e média compensada entre outubro e abril (período chuvoso), quando as diferenças foram, respectivamente, de 1,6ºC e 1,3ºC. Tais valores são suficientes para acentuar os processos de ET_p e de perda de água no solo para a atmosfera nas áreas não produtoras (A) e dificultar as atividades agrícolas das culturas de primavera/verão, como é o caso da soja, em razão da intensificação da DEF e/ou redução da oferta de EXC no solo para os cultivos.

Ao analisar de forma integrada os gráficos de ET_p/ET_r e do BHC constatou-se que as discrepâncias pluviotérmicas anteriormente descritas podem ser sintetizadas pela evolução média mensal da variabilidade espacial dos *inputs* (pluviosidade) e *outputs* (ET_p ou ET_r) dos fatores hídricos no solo.

O período de estiagem é praticamente o mesmo (abril a outubro), porém as diferenças das médias mensais de precipitação e temperatura média compensada demonstram que a ET_p e a ET_r das áreas não produtoras (VI-A) intensificaram o processo de evapotranspiração e culminaram em totais volumétricos máximos de EXC na ordem de 3,9mm em novembro, 83,5mm em dezembro, 34,5mm em janeiro e 24,5mm em março (VII-A). Esses quantitativos dificultam sobremaneira o cultivo da soja sem necessidade de aplicação permanente de técnicas de irrigação, as quais tendem a encarecer o valor médio das safras agrícolas e, em muitos casos, inviabilizam a produção.

As condições médias do BHC das áreas produtoras de soja (VII-B) evidenciam que o período de estiagem foi comparativamente mais brando em intensidade e a oferta hídrica (EXC) foi constante e mais volumosa ao longo dos meses de novembro a maio (período chuvoso). Essas características são decorrentes do maior aporte pluviométrico (entrada de água no solo) e da temperatura média compensada ter sido mais brando (minimizou os processos de ET_p e ET_r) que, em conjunto, possibilitaram as melhores condições para o desenvolvimento vegetativo dos cultivos de soja.

Frederico (2010) aponta que o avanço das técnicas e tecnologias no meio rural desempenharam contribuições fundamentais no aumento da produtividade agrícola ao longo dos anos, com importante destaque na adoção de variados métodos de irrigação, que visam minimizar a dependência e/ou estar preparado para as adversidades do clima na produção. O autor complementa que os custos de instalação e manutenção de técnicas de irrigação ainda são comparativamente muito mais elevados que outros métodos de cultivo que são mais dependentes da oferta “gratuita” dos insumos climáticos, nesse caso, o pluvial.

Por essa razão, as condições médias do clima ainda são importantes indicativos no condicionamento espacial da agricultura de larga escala de produção praticada em grande parte do Brasil (incluindo a área de estudo), pois as características climáticas favoráveis ao desenvolvimento das culturas agrícolas, em especial para soja, tendem a baratear os custos (menor necessidade de aporte tecnológico), aumentar a margem de lucro do produtor e adicionar competitividade dos produtos agrícolas devido ao menor valor agregado na produção.

Diante das constatações expostas, deduz-se que as características médias do clima no entorno do município de Unaí aparentemente exerceram importantes influências na produção

de soja, porém, ocorreu de forma heterogênea no espaço. Essa circunstância pode ser exemplificada pela sobreposição das unidades climáticas com as áreas produtoras e não produtoras de soja, ao indicarem que a produção e expansão dessa cultura agrícola estiveram fortemente condicionadas a determinadas localidades que naturalmente favoreceram o seu desenvolvimento, especialmente as unidades climáticas 2.D.III (nas porções centro-oeste), 3.P.III e 4.P.I.

Já as áreas de menor altitude situadas nas porções centro-leste (unidades climáticas 1.D.I, 2.D.I, 2.D.II e 2.D.III na sua parte oriental) apresentaram condições climáticas médias que, dependendo do modelo tecnológico de produção, limitariam o cultivo de culturas agrícolas temporárias de primavera/verão. Essas localidades podem ser caracterizadas e delimitadas como "fronteiras climaticamente adversas" à expansão e desenvolvimento das lavouras de soja que utilizam técnicas de cultivo como o sequeiro ou que adotem pouco emprego de irrigação. Esse fato pode justificar a ausência de lavouras com produção de soja de forma contínua no tempo, fruto da ocorrência de controles climáticos que influenciariam negativamente os plantios.

A seguir será feita uma breve análise da decomposição temporal dos anos agrícolas entre 1995/1996 e 2014/2015, ao abordar a distribuição espacial quantitativa e qualitativa da pluviosidade e da produção de soja.

5.3 ANÁLISE ANUAL: 1995/1996 A 2014/2015

A análise multitemporal dos dados foi realizada através da utilização de técnicas de estatística descritiva e análise exploratória, com o objetivo de compreender ao longo do tempo as principais características interanuais (amplitude, média, dispersão, etc) dos dados pluviométricos de 122 estações e de produção de soja para 35 municípios durante 20 anos.

Optou-se por utilizar nesse exame somente os dados pluviais, em razão dessa variável (a) apresentar intensos contrastes quantitativos, fruto da variabilidade espaço-temporal na área de estudo, e por (b) ser um fundamental insumo na produção agrícola. Partindo desse entendimento chegou-se aos seguintes questionamentos:

1) De que forma os totais anuais de chuva no entorno de Unaí foram influenciados por fatores de escalas superiores (El Niño, La Niña e ODP)?
2) Existe relação espacial entre a distribuição dos totais pluviométricos anuais (mais ou menos chuvosos) com a variação da produtividade de soja para os municípios do entorno de Unaí?

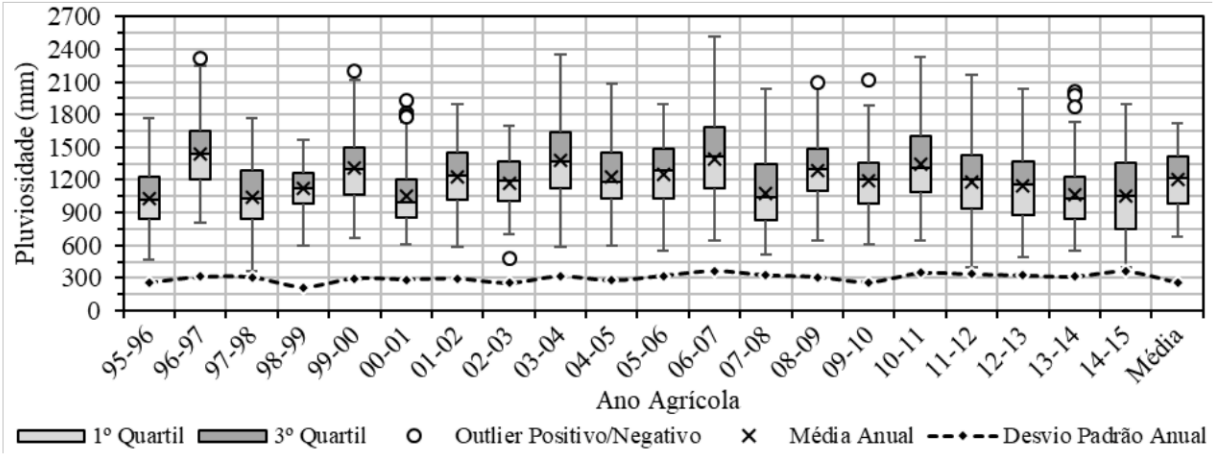
3) Outras escalas temporais (sazonal, mensal e diária) possibilitam identificar com precisão e acurácia as variações têmporo-espaciais da pluviosidade e, por conseguinte, o papel de influência do clima na produção de soja?

O entendimento das dúvidas levantadas será discutido nos próximos subcapítulos, quando serão tratadas as diferenças anuais dos totais pluviométricos e a produção de soja.

5.3.1 Variabilidade interanual da pluviosidade

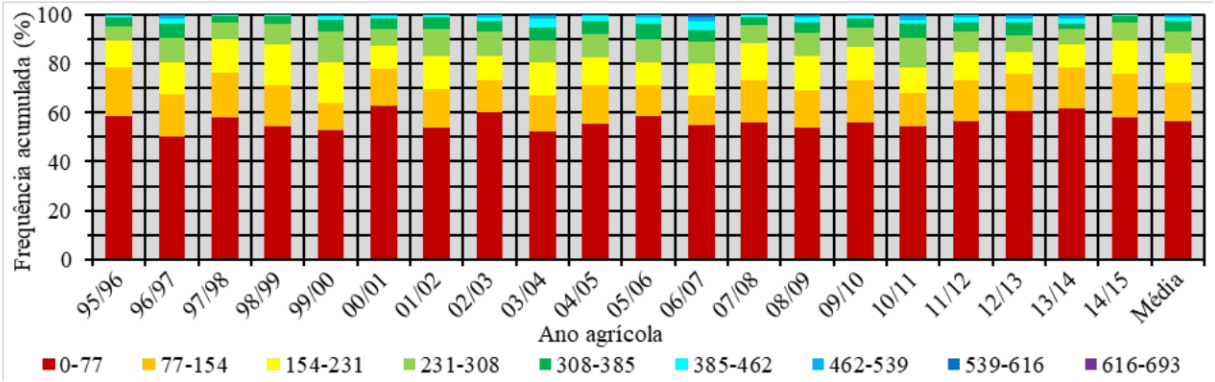
Com o objetivo de compreender os totais de pluviosidade anual nos seus aspectos quantitativos (volume precipitado) e qualitativos (distribuição temporal), foram construídos gráficos de *Box-Plot* e o histograma mensal (Figuras 57 e 58) com os dados das 122 estações.

Figura 57 - Gráfico de *Box-Plot* da pluviosidade anual das estações no entorno de Unaí-MG.



Fonte: ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 58 - Histograma das classes de precipitação mensal por ano no entorno de Unaí-MG.



Fonte: ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

A média interanual da pluviosidade (1995/1996 a 2014/2015) foi de 1.201,2mm, com mínima de 679,2mm e máximas de 1.714,8mm (Δ=1.035,6mm), correspondendo ao Desvio-padrão (σ) de 256,5mm e Coeficiente de Variação (C.V.) de 21,4%.

Os anos de 1995/1996 e 1996/1997 apresentaram, respectivamente, a menor (1.028,9mm) e a maior (1.437,4mm) média de pluviosidade. O menor volume pluviométrico anual de uma estação foi de 364,9mm em 1997/1998. Em 1998/1999 ocorreram os menores valores de pluviosidade máxima (1.573,6mm), de amplitude (Δ=977,3mm), de σ (215,2mm) e C.V. (19,2%), se opondo ao ano de 2006/2007, que obteve os maiores totais de precipitação máxima anual (2.512,7mm), de amplitude (1.866,7mm) e de σ (367,7mm). Já o maior C.V. anual (34,4%) ocorreu em 2014/2015, graças a média de 1.050,8mm e σ de 361,3mm.

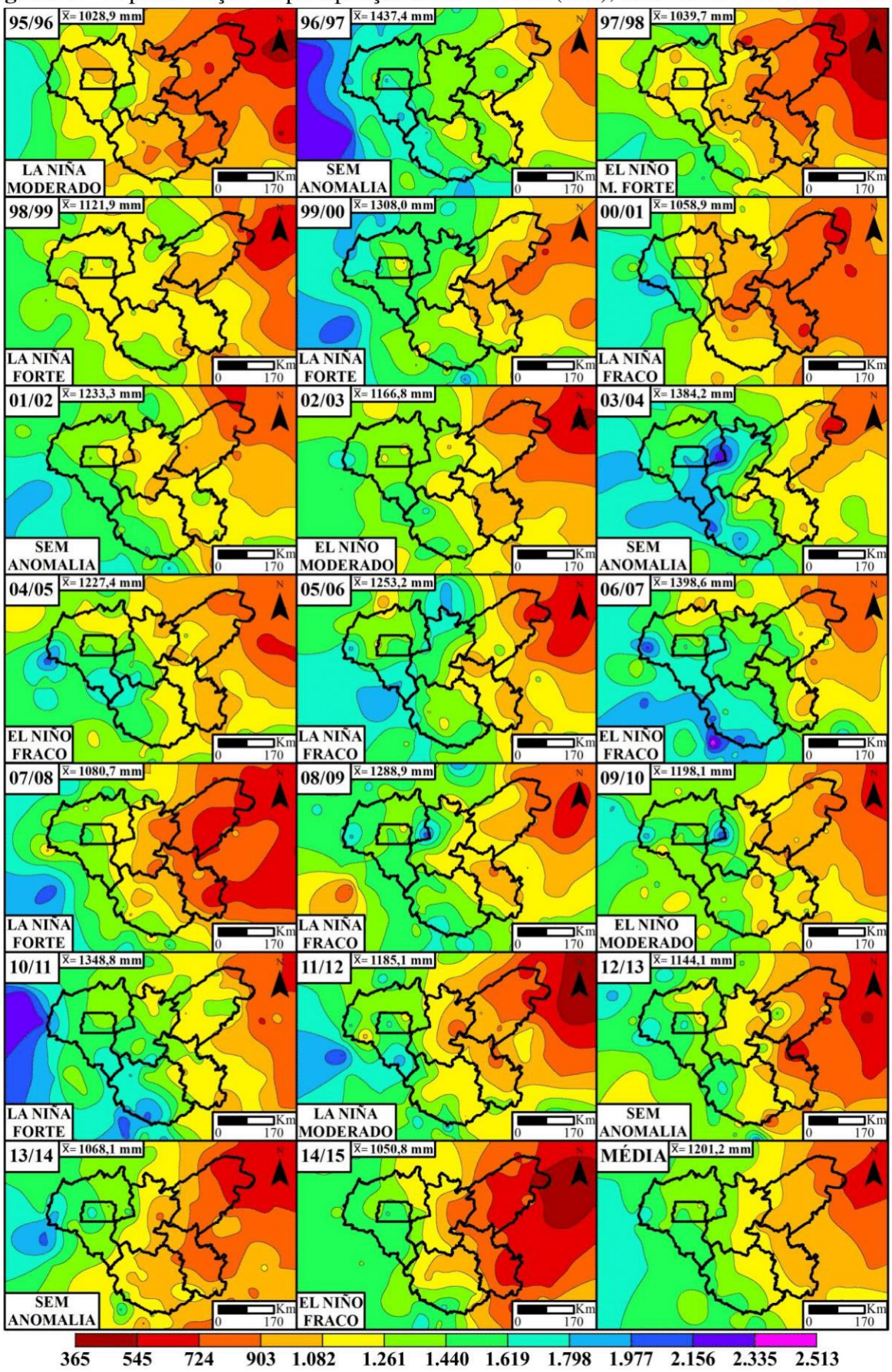
Nas estações situadas no entorno de Unaí ocorreram 13 casos de *outliers* positivos, com um caso em 1996/1997 (2.313,6mm), 1999/2000 (2.201,2mm), 2008/2009 (2.097,2mm) e 2009/2010 (2.113,2), três casos em 2013/2014 (1874,0mm, 1976,2mm e 2010,3mm) e seis casos em 2000/2001 (1.775,0mm, 1.787,7mm, 1.789,4mm, 1.809,1mm, 1.814,1mm e 1936,7). Em contrapartida, houve somente um caso de *outlier* negativo (2002/2003, com 478,6mm).

Os anos com as menores médias anuais de chuva, respectivamente, 1995/1996 (1.028,9mm), 1997/1998 (1.039,7mm), 2014/2015 (1.050,8mm) e 2000/2001 (1.058,9mm), foram os que apresentaram também os mais elevados percentuais de meses com pluviosidade entre 0mm e 154mm (78,5%, 76,3%, 75,9% e 77,8%). Já os anos de maior quantidade anual de precipitação, 1996/1997 (1.437,4mm), 2006/2007 (1.398,6mm), 2003/2004 (1.384,2mm) e 2010/2011 (1.348,8mm), corresponderam a baixos percentuais de meses com volumes pluviais entre 0mm e 154mm (67,6%, 67,1%, 67,1% e 68%) e os maiores valores relativos de meses com totais de entre 308mm e 693mm (9,3%, 10,9%, 10,4% e 9,15) nos 20 anos analisados.

As características da pluviosidade regional foram melhor compreendidas ao analisar conjuntamente as Figuras 59 e 60, que representam a espacialização anual e seus desvios em relação à média. As diferenças presentes na variabilidade interanual da pluviometria regional ultrapassam os aspectos estáticos de superfície, como os descritos para os valores médios.

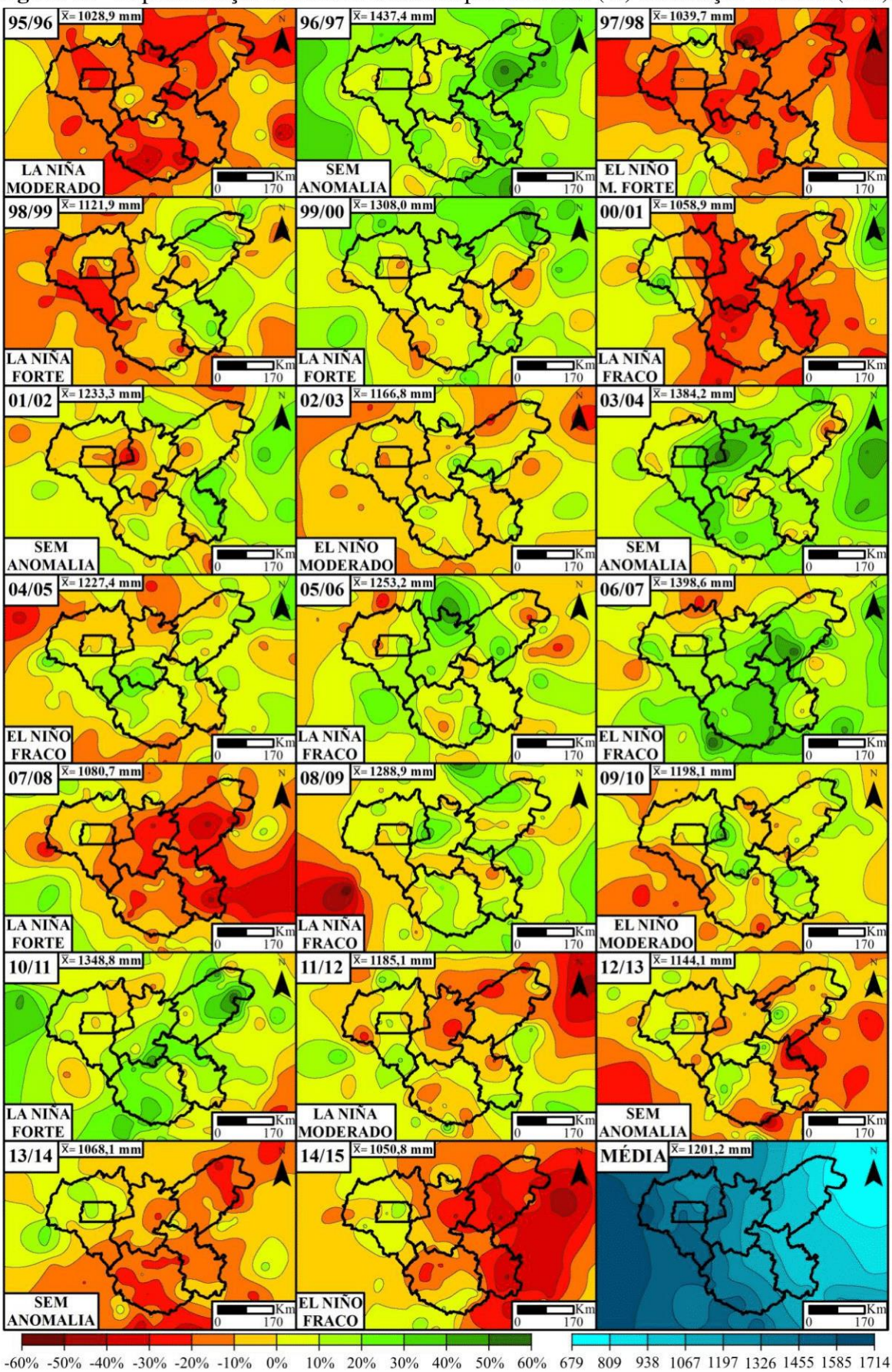
As variações quantitativas que ocorreram no recorte temporal analisado (Figura 59) estiveram especialmente vinculadas às características qualitativas dos climas regionais (dinâmica das massas de ar), através da abrangência máxima e do poder de influência dos sistemas atmosféricos de origem extratropical, tropical e equatorial e seus respectivos índices de participação na escala local no decorrer do período chuvoso (ALVES, 2009; NUNES et al., 2009; BORSATO, 2017). As disparidades dos totais pluviais resultaram em desvios pluviométricos em relação à média (Figura 60) que variam positivamente ou negativamente em intensidade e localização.

Figura 59 - Espacialização da precipitação anual e média (mm), entre 1995/1996 e 2014/2015



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a; NOAA, 2018. Elaborado pelo autor.

Figura 60 - Espacialização do Desvio anual da pluviosidade (%) em relação à média (mm).



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a; NOAA, 2018. Elaborado pelo autor.

Os totais pluviais e os seus desvios relativos puderam ser interpretados de modo mais simples ao segmentá-los em classes de intensidade pela técnica de anos-padrão, com o intuito de verificar a variabilidade temporal da magnitude do total pluviométrico e respeitando as características estatística de distribuição dos dados para cada estação. Foram classificados 2.440 anos-padrão (20 anos para 122 estações) pelo método do Desvio-padrão (SILVESTRE et al., 2013), tendo como resultados o total de 16% de anos Chuvosos, 14% de anos Tendentes a Chuvosos, 37% de anos Habituais, 17% de anos Tendentes a Secos e 15% de anos Secos.

Ao espacializar as classes de pluviosidade anual (Figura 61) foi possível regionalizar os seus padrões de intensidade e, a partir disso, indicar a presença de prováveis anomalias na frequência normal de sucessão dos sistemas atmosféricos. Esse fato pode ser exemplificado pela normalidade ou excepcionalidade interanual da gênese pluvial regional, ao relacionar 20% do total de anos com as maiores (1996/1997, 2006/2007, 2003/2004 e 2010/2011) e menores (1995/1996, 1997/1998, 2014/2015 e 2000/2001) médias pluviométricas. O Quadro 10 resume as informações constantes na Figura 61, ao apresentar a frequência relativa das classes de anos-padrão e a sua síntese pela(s) característica(s) predominante(s) do período analisado.

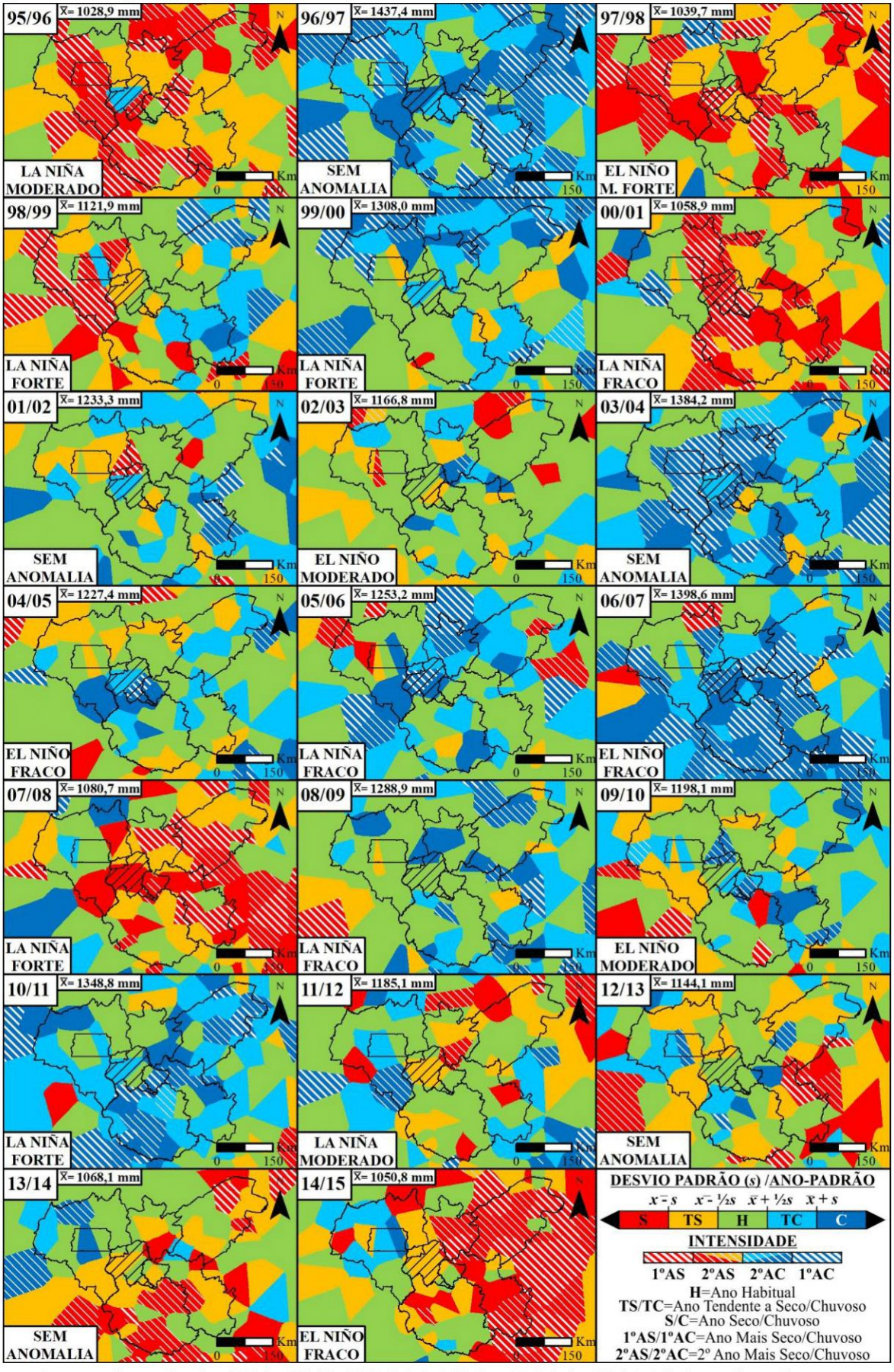
Quadro 10 - Frequência relativa (%) e as classes de ano(s)-padrão predominante entre 1995/1996 e 2014/2015 nas estações situadas no entorno de Unaí-MG.

Classes de Ano-padrão de Pluviosidade	Ano Agrícola																			
	1995/1996	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Chuvoso (C)	0,0	57,4	1,6	5,7	27,0	3,3	12,3	4,9	41,0	12,3	13,9	50,8	4,9	25,4	8,2	35,2	9,8	5,7	4,1	3,3
T. Chuv. (TC)	1,6	23,0	1,6	10,7	23,0	3,3	18,0	9,8	28,7	21,3	18,0	18,0	4,9	18,9	14,8	23,8	16,4	12,3	4,9	5,7
Habitual (H)	29,5	19,7	26,2	36,1	42,6	29,5	52,5	55,7	26,2	44,3	54,1	25,4	33,6	47,5	55,7	32,0	41,8	38,5	33,6	20,5
T. Seco (TS)	30,3	0,0	31,1	28,7	6,6	28,7	12,3	21,3	4,1	17,2	7,4	3,3	23,8	6,6	14,8	7,4	19,7	27,0	21,3	29,5
Seco (S)	38,5	0,0	39,3	18,9	0,8	35,2	4,9	8,2	0,0	4,9	6,6	2,5	32,8	1,6	6,6	1,6	12,3	16,4	36,1	41,0
CLASSE DE ANO(S)-PADRÃO PREDOMINANTE																				
Ano-Padrão	S/TS	C	S/TS	M	M	S/TS	H	H	C	M	H/TC	C	S/TS	H	H	C/TC	M	M	S/TS	S

Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

A definição entre as classes de ano(s)-padrão predominante(s) ocorreu pela interpretação concomitante dos dados quantitativos (Quadro 10) e qualitativos (Figura 61), que necessitou adotar a classe Misto (M) para os anos que não apresentam uma configuração espacial de predominância de intensidade da pluviosidade. A classificação do(s) ano(s)-padrão predominante apresentou os seguintes resultados: Seco em 2014/2015; Seco/Tendente a Seco em 1995/1996, 1997/1998, 2000/2001, 2007/2008 e 2013/2014; Habitual em 2001/2002, 2002/2003, 2008/2009 e 2009/2010; Habitual/Tendente a Chuvoso em 2005/2006; Chuvoso/Tendente a Chuvoso em 2010/2011; Chuvoso em 1996/1997, 2003/2004 e 2006/2007; e, por fim, Misto em 1998/1999, 1999/2000, 2004/2005, 2011/2012 e 2012/2013.

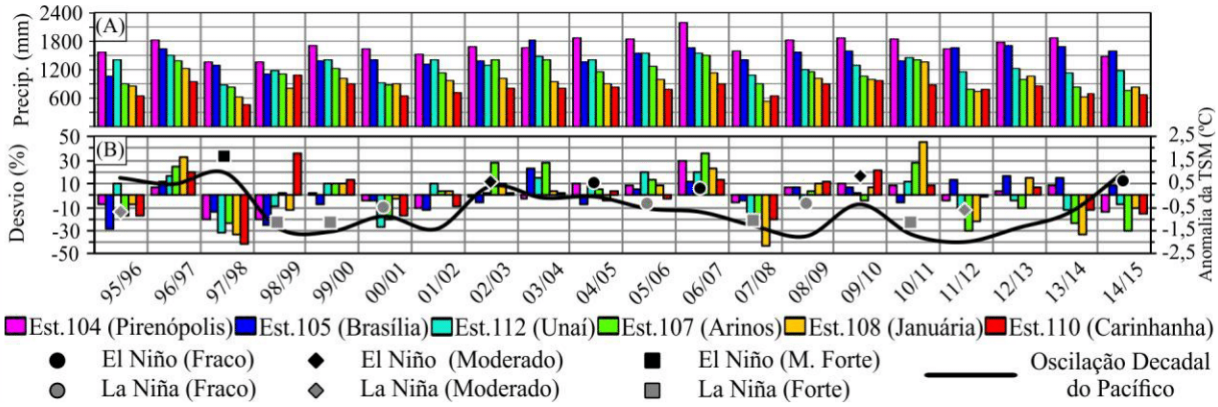
Figura 61 - Espacialização dos anos-padrão no entorno de Unaí-MG (1995/1996 a 2014/2015).



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a; NOAA, 2018. Elaborado pelo autor.

A Figura 62 apresenta o detalhamento escalar da análise (regional para o local), ao exibir o gradiente pluviométrico formado pelas estações do transecto A-B e a ocorrência de eventos de teleconexão do clima. Verificou-se a estreita relação entre as fases negativas e positivas da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) com os eventos de El Niño Oscilação Sul (ENOS), com exceção dos anos de 1995/1996 (fase positiva da ODP com ocorrência de La Niña [LN]) e 2006/2007 e 2009/2010 (fase negativa da ODP com El Niño [EN]).

Figura 62 - Transecto A-B da pluviosidade (A) acumulada e (B) desvio em relação à média.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a; NOAA, 2018. Elaborado pelo autor.

As diferenças dos totais pluviométricos ao longo dos anos para as localidades do transecto A-B estiveram atreladas às características caóticas que compõem os mecanismos dinâmicos dos sistemas climáticos em suas diferentes escalas, que na concepção de Monteiro (1991), afetarão de forma heterogênea o encadeamento sequencial dos tipos de tempo (meteorológico) em cada local e influenciarão diretamente na variabilidade temporal das chuvas (menores ou maiores volumes) no transcorrer do tempo (cronológico) e em diferentes espaços.

Grimm (2009) contribui ao debate ao abordar a relevância do ENOS na variabilidade interanual das chuvas no Brasil, com destaque para as anomalias nos padrões de circulação geral da atmosfera no continente da sul-americano e seus impactos nos acumulados extremos (períodos de seca ou elevada precipitação). Essas condições ocorrem de modo mais preponderante na primavera, em razão dos desvios da pluviosidade serem mais significativos em comparação às séries históricas e por possuírem forte correlação de teleconexão com as Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico em sua porção tropical.

Dias e Marengo (2002) destacam que poucos trabalhos científicos indicam anomalias positivas de pluviosidade no Brasil em eventos de EN, pois em anos de ocorrência desse fenômeno normalmente ocorre o predomínio de períodos secos. Em relação a LN os autores e Grimm (op. cit.) expõem que faltam estudos que vinculem sua influência com as condições

meteorológicas no Brasil, porém já foi possível identificar maior recorrência do avanço de sistemas frontais associado a ampliação da pluviosidade para regiões normalmente secas do nordeste brasileiro, além da tendência de seca durante a primavera/verão em partes da Região Centro-Oeste.

A partir das discussões realizadas buscou-se identificar possível correlação entre a variabilidade temporal dos dados pluviométricos em escala regional (Figuras 59, 60 e 61 e o Quadro 10) e as anomalias da TSM do Oceano Pacífico (Figura 62) na área de estudo.

Foram encontradas prováveis vinculações entre as teleconexões de ENOS com a maior ou menor intensidade dos volumes precipitados, com menor repercussão para os anos Tendente a Chuvoso e/ou Chuvoso (2006/2007, 2010/2011) e, principalmente, a maior contribuição nos anos-padrão Seco e/ou Tendente a Seco (1995/1996, 1997/1998, 2000/2001, 2007/2008, 2014/2015). Ao relacionar os dados das estações no transecto A-B (Figura 62) com as anomalias e intensidade dos eventos de ENOS, através dos desvios positivos (2006/2007 e 2010/2011) e negativos (1995/1996, 1997/1998, 1998, 1999, 2000/2001, 2007/2008, 2013/2014 e 2014/2015) da pluviosidade, essa afinidade ficou mais nítida.

Todavia, diante dos resultados obtidos, não foi possível fazer clara analogia entre as fases de EN e LN (inclusive com a maior ou menor intensidade dos seus eventos) com as regionalizações dos totais acumulados de chuva e seu respectivos desvios relativos (Figuras 59 e 60) e das classes de intensidade dos anos-padrão (Figura 61), além das variações locais representadas no transecto A-B (Figura 62).

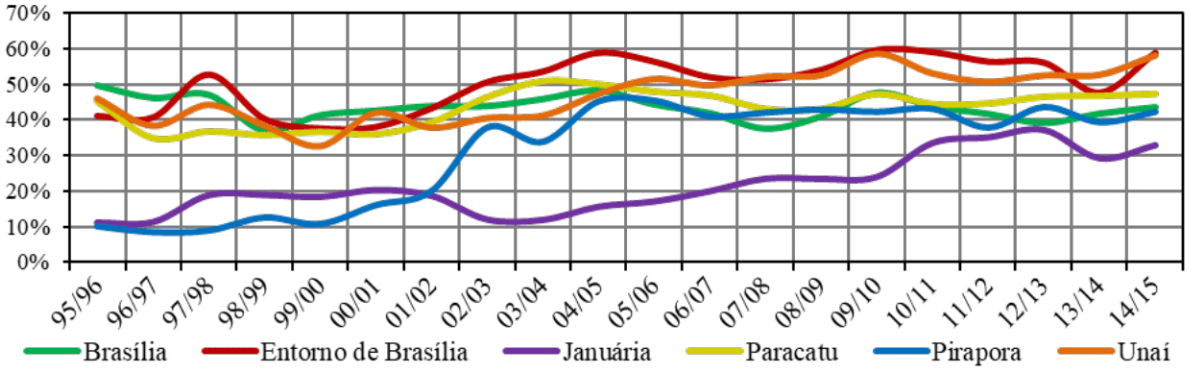
A impossibilidade de definir “padrões semelhantes” entre a pluviosidade e os eventos de ENOS com suas respectivas intensidades nas microrregiões ficou evidente ao comparar determinados anos agrícolas, por exemplo, ao confrontar a ocorrência de condições regionais distintas de pluviosidade e anos-padrão com os eventos de EN de fraca intensidade nos anos de 2006/2007 (chuvoso) e 2014/2015 (Seco) com anos de LN de forte intensidade em 2007/2008 (Seco/Tendente a Seco) e 2010/2011 (Chuvoso/Tendente a Chuvoso).

Ao finalizar esse subcapítulo conclui-se que foi possível relacionar a interferência das teleconexões do clima na área de estudo, através da influência dos eventos de ENOS com os anos de maior ou menor média regional das chuvas. Porém, destaca-se não ser possível diferenciar com exatidão a contribuição das intensidades das fases quente e fria do ENOS na configuração espacial dos anos-padrão. Situação semelhante já foi constatada por Dias e Marengo (2002) e Mendonça e Danni-Oliveira (2009) para as Regiões Centro-Oeste e partes da Região Sudeste do Brasil, ao identificarem a dificuldade em determinar a influência das fases positivas e negativas do ENOS nas anomalias de pluviosidade.

5.3.2 Produção de soja no tempo e no espaço

Dentre todas culturas agrícolas temporárias cultivadas nas microrregiões do entorno de Unaí, a evolução temporal da área de plantio destinada ao cultivo da soja merece importante destaque, pois representou entre 33% e 60% do total territorial destinado à agricultura na safra 2014/2015 (Figura 63).

Figura 63 - Área de cultivo de soja em relação a área destinada ao plantio de todas as culturas agrícolas temporárias entre as safras 1995/1996 e 2014/2015 por microrregião.



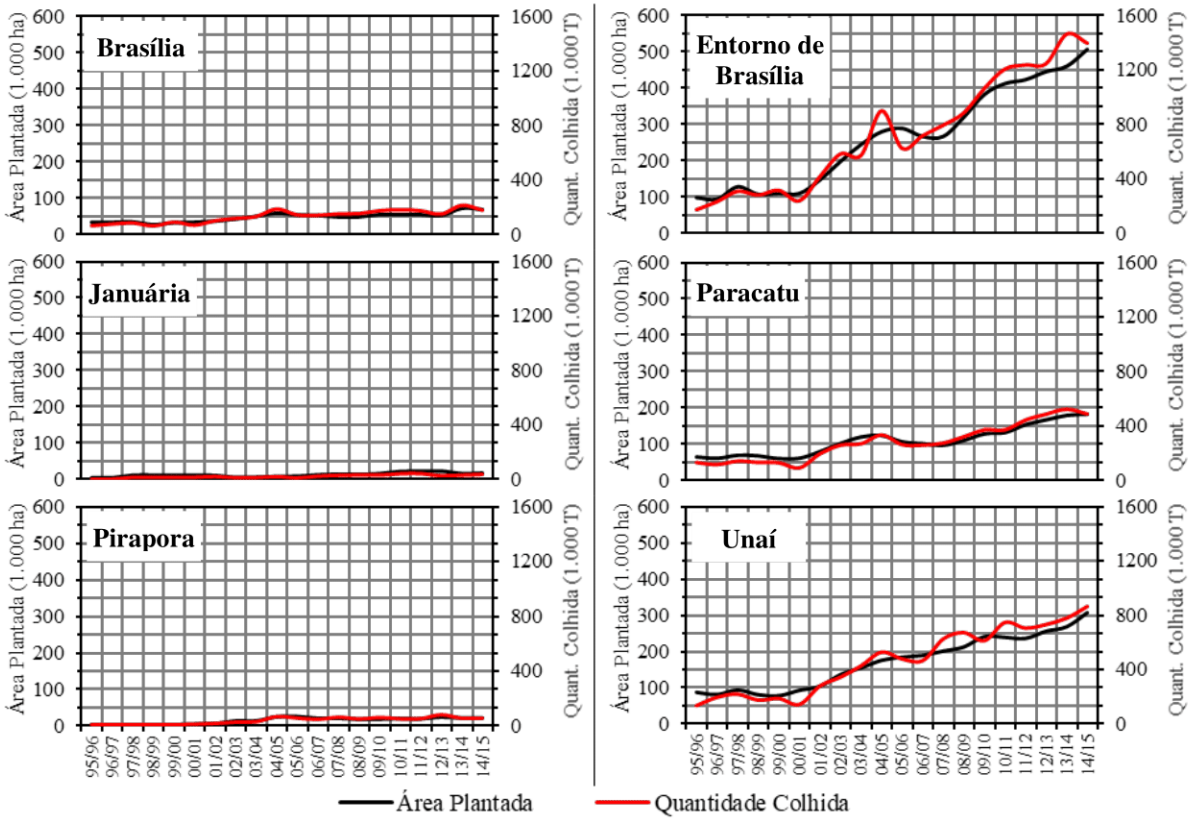
Fonte: IBGE, 2018b. Elaborado pelo autor

As microrregiões do Entorno de Brasília e Unaí foram as que mais destinaram suas áreas produtivas ao cultivo da soja, seguidas de Paracatu, Brasília, Pirapora e Januária. As flutuações ligadas ao crescimento quantitativo apresentado na Figura 64 apontam que em quase todas as microrregiões houve o incremento da produção de soja em detrimento do plantio de outras culturas (milho, sorgo, etc), as quais podem estar vinculadas a tendência de permuta das culturas agrícolas cultivadas e/ou abertura e expansão de novas áreas de cultivo.

Frederico (2010) explica que essas alterações nos padrões produtivos estão fortemente associadas à inserção do meio agrário brasileiro às cadeias produtivas globais, através da incorporação de processos e atividades vinculadas à demanda de produtos agrícolas e ao maior interesse do produtor em expandir sua produção em razão da venda dos produtos serem vinculados ao valor da soja no mercado internacional.

Os dados referentes aos totais absolutos de área plantada e quantidade colhida de soja possuem grandes discrepância entre as diferentes microrregiões, ao apresentar o Entorno de Brasília, Paracatu e Unaí como grandes produtores e de modo incipiente Brasília, Januária e Pirapora (Figura 64). Entre o início (1995/1996) e o final (2014/2015) do período analisado houve o crescimento de 271,5% de área plantada e 523,5% de quantidade produzida na soma de todos os municípios produtores de soja.

Figura 64 - Evolução do cultivo de soja entre as safras 1995/1996 e 2014/2015 por microrregião



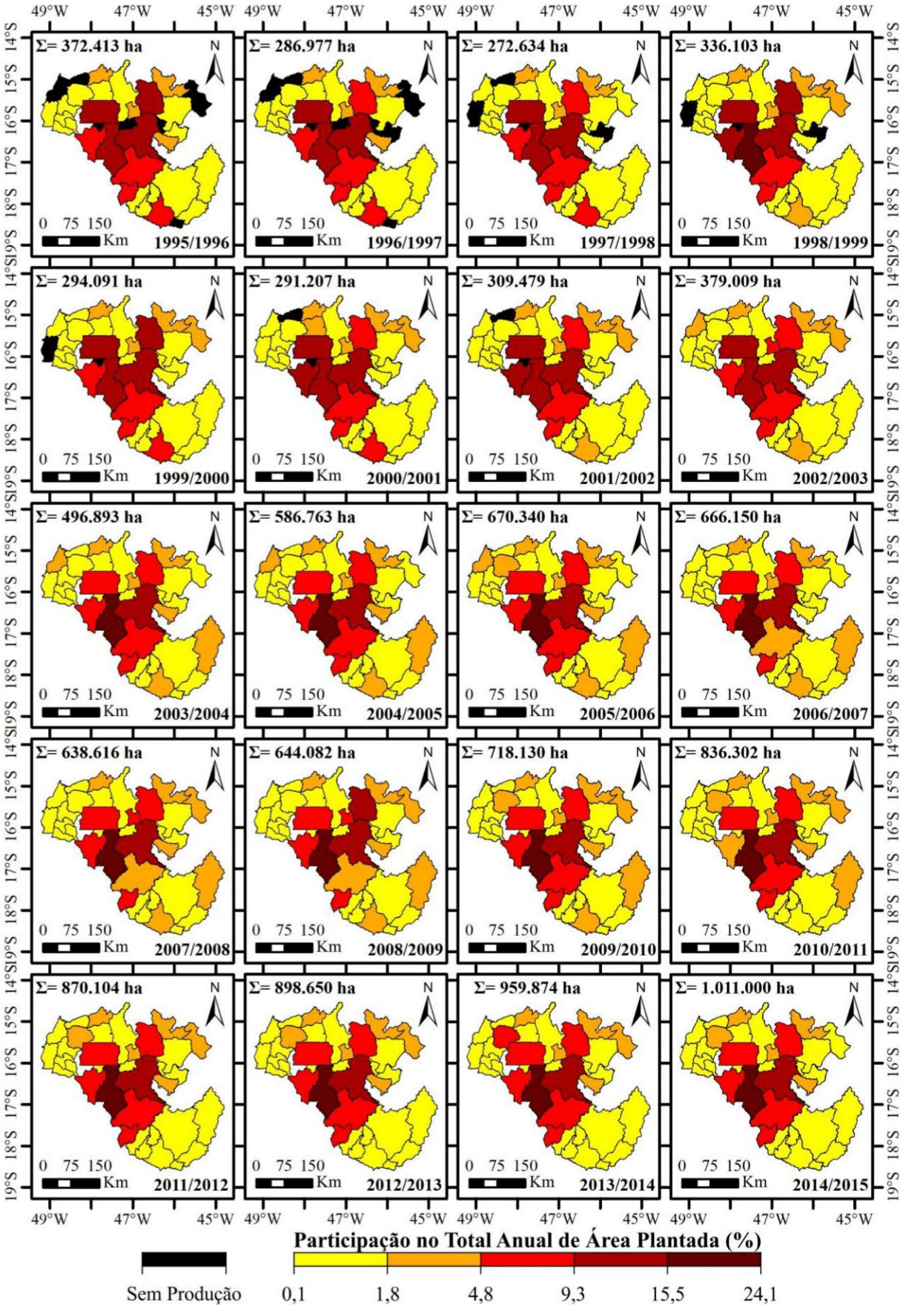
Fonte: IBGE, 2018b. Elaborado pelo autor.

Mas dentre os dados apresentados, principalmente da área total destinada ao plantio, cabe uma ressalva em relação à microrregião de Brasília. Sua extensão territorial (5.788 km²) ocupa somente 3,2% de toda a área analisada e, com isso, seus totais absolutos também foram inferiores em relação às outras microrregiões, mesmo com 28% do seu território voltando às práticas agrícolas e, desse montante, a soja corresponder 44% de da área ocupada (2.431 km²) em relação à safra 2014/2015 (IBGE, 2018b).

Já os dados de área plantada e quantidade colhida nas microrregiões de Pirapora e Januária foram os mais baixos dentre as microrregiões analisadas, devido à pouca quantidade de municípios produtores em seus limites político-administrativos, especificamente em Buritizeiro e Riachinho para Pirapora e somente Chapada Gaúcha em Januária.

Ao analisar os 35 municípios produtores de soja a partir das suas contribuições relativas de área plantada para cada ano agrícola (Figura 65), observou-se que Cristalina e Unaí sempre figuraram como importantes polos de produção, representando mais de 30% das lavouras desde a safra 2003/2004. Ao considerar os municípios com as maiores áreas destinadas ao plantio de soja (Tabela 17) percebeu-se que em 95% das vezes os municípios de Cristalina, Unaí, Paracatu, Buritis, Brasília, Luziânia e GuardaMor apareceram de forma alternada entre os sete maiores produtores e juntos representaram o mínimo 64% de toda área destinada ao plantio.

Figura 65 - Percentual anual de área plantada de soja por município no entorno de Unaí-MG.



Fonte: adaptado de IBGE, 2018b. Elaborado pelo autor.

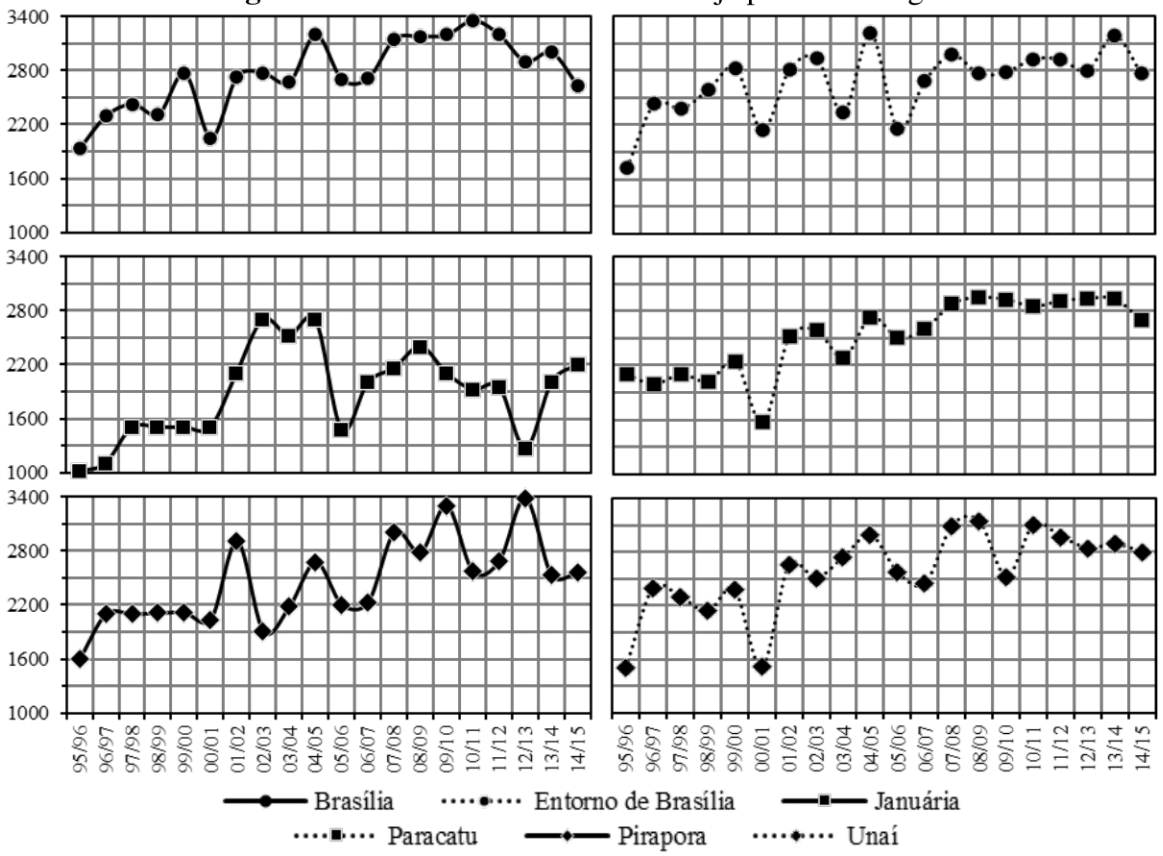
Tabela 17 - Ranking dos municípios com as maiores áreas de plantio de soja e a soma de suas respectivas contribuições (%) na produção total por ano agrícola no entorno de Unaí-MG.

Municípios Produtores	Ano Agrícola																			
	1995/1996	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/1200	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Cristalina	1º	2º	1º	1º	1º	1º	2º	2º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º
Unaí	4º	1º	2º	2º	2º	2º	1º	1º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º
Paracatu	-	-	-	7º	7º	6º	7º	5º	6º	6º/7º	6º/7º	-	-	-	5º	6º	5º	3º	3º	3º
Buritis	2º	4º	5º	3º	3º	5º	5º	6º	4º/5º	4º	4º	3º	3º	3º	3º	3º	3º	4º	4º	4º
Brasília	3º	3º	3º	4º	4º	3º	3º	3º	3º	3º	3º	4º	4º	4º	4º	4º	4º	5º	6º	5º
Luziânia	5º	5º	4º	5º	5º	4º	4º	4º	4º/5º	5º	5º	5º	6º	7º	7º	7º	7º	7º	7º	6º
GuardaMor	7º	6º	6º	6º	6º	7º	6º	7º	7º	6º/7º	6º/7º	6º	5º	5º	6º	5º	6º	6º	5º	7º
Cabeceiras	-	-	-	-	-	-	-	7º	-	-	-	7º	7º	6º	-	-	-	-	-	-
Pres. Olegário	6º	7º	7º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Participação Total (%)	66,3	65,7	65,9	68,3	68,4	68,8	68,0	64,6	66,5	66,3	65,7	65,9	68,3	68,4	68,8	68,0	64,6	66,5	66,3	65,7

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao comparar os dados originais (sem a retirada da tendência tecnológica) da evolução temporal da produtividade média da soja para cada microrregião verificou-se que as flutuações positivas e negativas dos resultados em cada safra possuem algumas semelhanças mas também diferenças, as quais devem ser analisadas de forma detalhada e em conjunto (Figura 66).

Figura 66 - Produtividade média de soja por microrregião.



Fonte: adaptado de IBGE, 2018b. Elaborado pelo autor

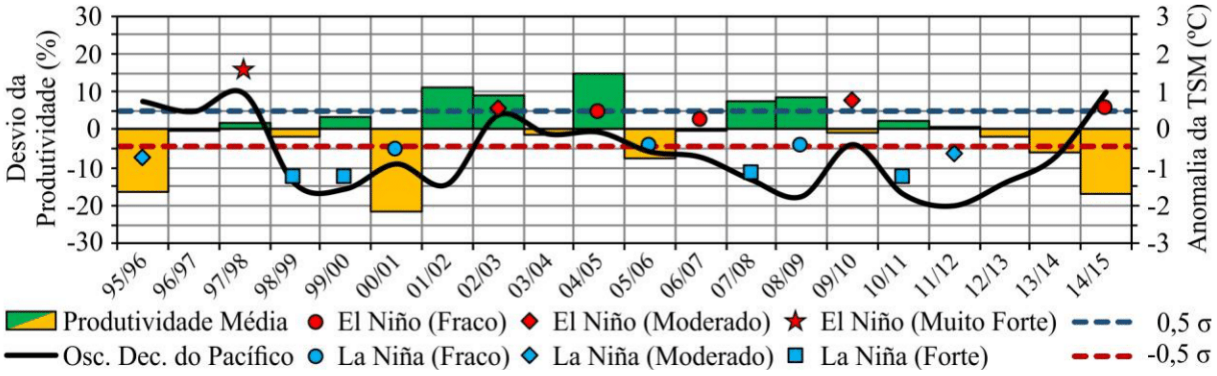
O crescimento linear, relativo à diferença entre a primeira (1995/1996) e a última (2014/2015) safras, refletiu a evolução técnica e tecnológica no meio rural, por meio da incorporação de novas práticas produtivas (sementes geneticamente adaptadas às condições edafoclimáticas, novas técnicas de irrigação, intensificação da mecanização, uso recorrente de defensivos agrícolas, etc.) e o incremento de práticas de manejo mais modernas (plantio direto, rotação de culturas, etc.) que propiciaram o aumento da produtividade no decorrer dos 20 anos.

Já as anomalias positivas e negativas de produtividade, ocorridas entre safras agrícolas próximas, dizem respeito, principalmente, às condições climáticas favoráveis ou desfavoráveis que impactaram em anos específicos a qualidade e quantidade da colheita (EMBRAPA, 2011). As adversidades climáticas podem impactar os resultados finais da produção em diferentes fases do processo produtivo, desde o plantio (atraso do período chuvoso após a semeadura), até passar pelo desenvolvimento fenológico da semente (DEF ou EXC, proliferação de pragas, etc.) e colheita (excesso de chuva que encharca o solo e inviabiliza a colheita mecanizada).

Com o intuito de analisar de forma isonômica a produtividade da soja em cada um dos 35 municípios ao longo do tempo, foi realizada a retirada a influência tecnológica na produção (Figura 67), conforme sugerem Carmona e Berlato (2000, apud MARIANO et al.,2006).

Os dados ajustados de produtividade por município foram agrupados na escala anual e calculados seus desvios médios com as informações de ENOS e ODP (Figura 68). Observa-se que não houve relação direta das teleconexões do clima com as variações anuais da produção.

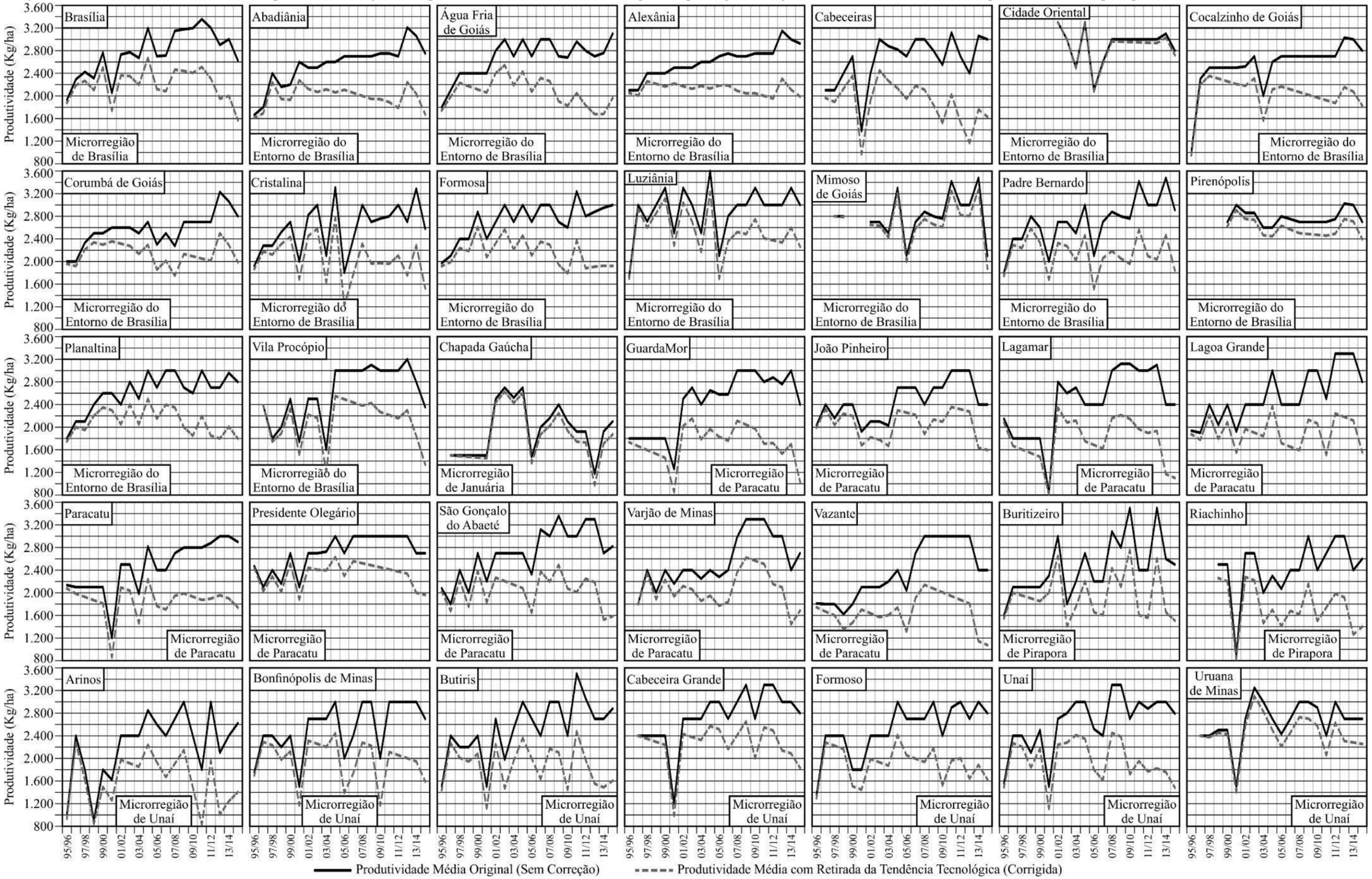
Figura 68 - Desvio da produtividade média anual de soja no entorno de Unaí-MG e suas relações com as anomalias da TSM e os eventos ENOS e ODP.



Fonte: adaptado de IBGE, 2018a; NOAA, 2018. Elaborado pelo autor.

Entretanto, verificou-se que metade dos desvios negativos da produtividade, abaixo de -0,5σ, ocorreram em anos com ocorrência de ENOS, com: LN em 1995/1996 (-16,5%), 2000/2001 (-21,7%), 2005/2006 (-7,5%); e EN em 2014/2015 (-16,8%). Nos demais anos de desvios negativos e eventos de ENOS (1996/1997, 1998/1999, 2006/2007 e 2009/2010) as médias de produtividade estiveram acima de -0,5σ e, por isso, não foram considerados relevantes

Figura 67 - Produtividade real (IBGE) e produtividade ajustada após retirada da tendência tecnológica na produção de soja entre 1995/1996 e 2014/2015 para os 35 municípios produtores no entorno de Unaí-MG.

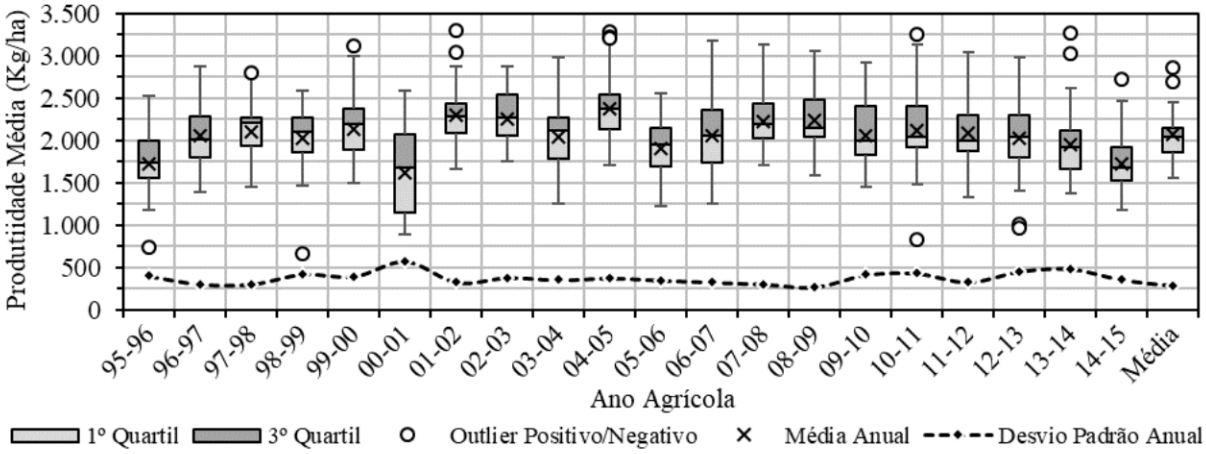


Fonte: adaptado de IBGE, 2018b. Elaborado pelo autor

Os desvios positivos de produtividade acima de 0,5σ em eventos de EN ocorreram em 2002/2003 e 2004/2005, enquanto os anos de 2007/2008 e 2008/2009 foram de LN. Assim como ocorreu com os desvios negativos, os anos de 1999/2000 e 2010/2011 não foram considerados relevantes por possuírem produtividade média abaixo de 0,5σ.

Os dados de produtividade ajustada foram analisados através da amplitude e distribuição dos seus totais (Figura 69), além da representação de suas características espaciais e temporais através da variação interanual (Figura 70) e da definição de classes que demonstrem o desempenho agrícola de soja no entorno de Unaí (Figura 71).

Figura 69 - Produtividade média anual dos municípios produtores de soja no entorno de Unaí

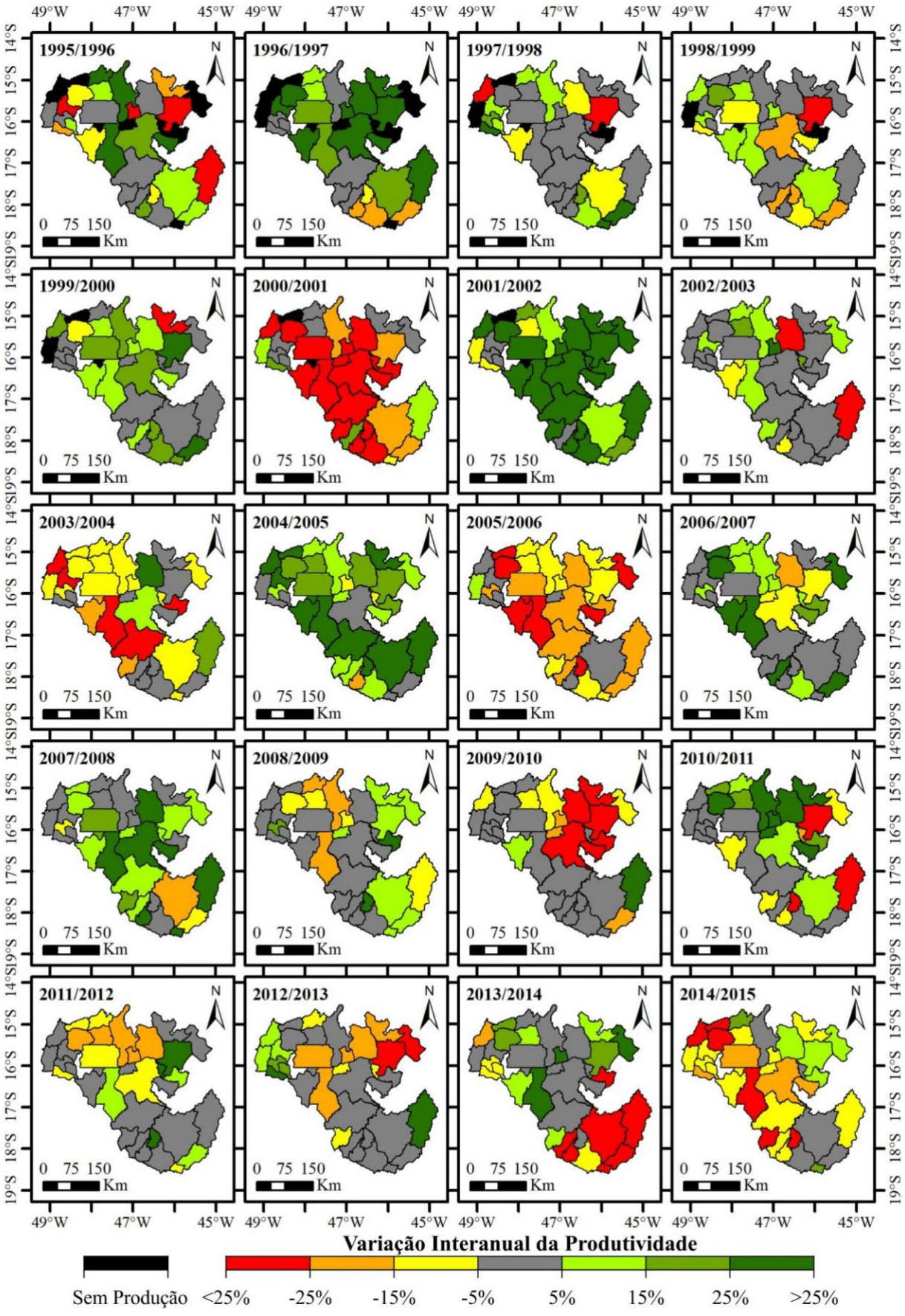


Fonte: adaptado de IBGE, 2018a. Elaborado pelo autor.

As médias anuais de produtividade (Figura 69) de 1996/1997 a 1999/2000, 2003/2004, 2005/2006, 2006/2007 e 2009/2010 a 2012/2013 variaram 5% em relação à média histórica (2.068 kg/ha). Os anos de 1995/1996, 2001/2002, 2002/2003, 2004/2005 e 2007/2008 tiveram médias de produtividade acima de 10% em relação à média dos 20 anos, se opondo aos anos de 2000/2001, 2013/2014 e 2014/2015, que corresponderam a valores médios 10% inferiores em comparação à média do período de 1995/1996 a 2014/2015. A dispersão do conjunto de dados de produtividade apontou que os anos com os três maiores valores de Desvio-padrão ocorreram em 2000/2001 (574 kg/ha), 2013/2014 (484 kg/ha) e 2012/2013 (454 kg/ha), e os três menores em 2008/2009 (270 kg/ha), 1996/1997 e 1997/1998 (303 kg/ha).

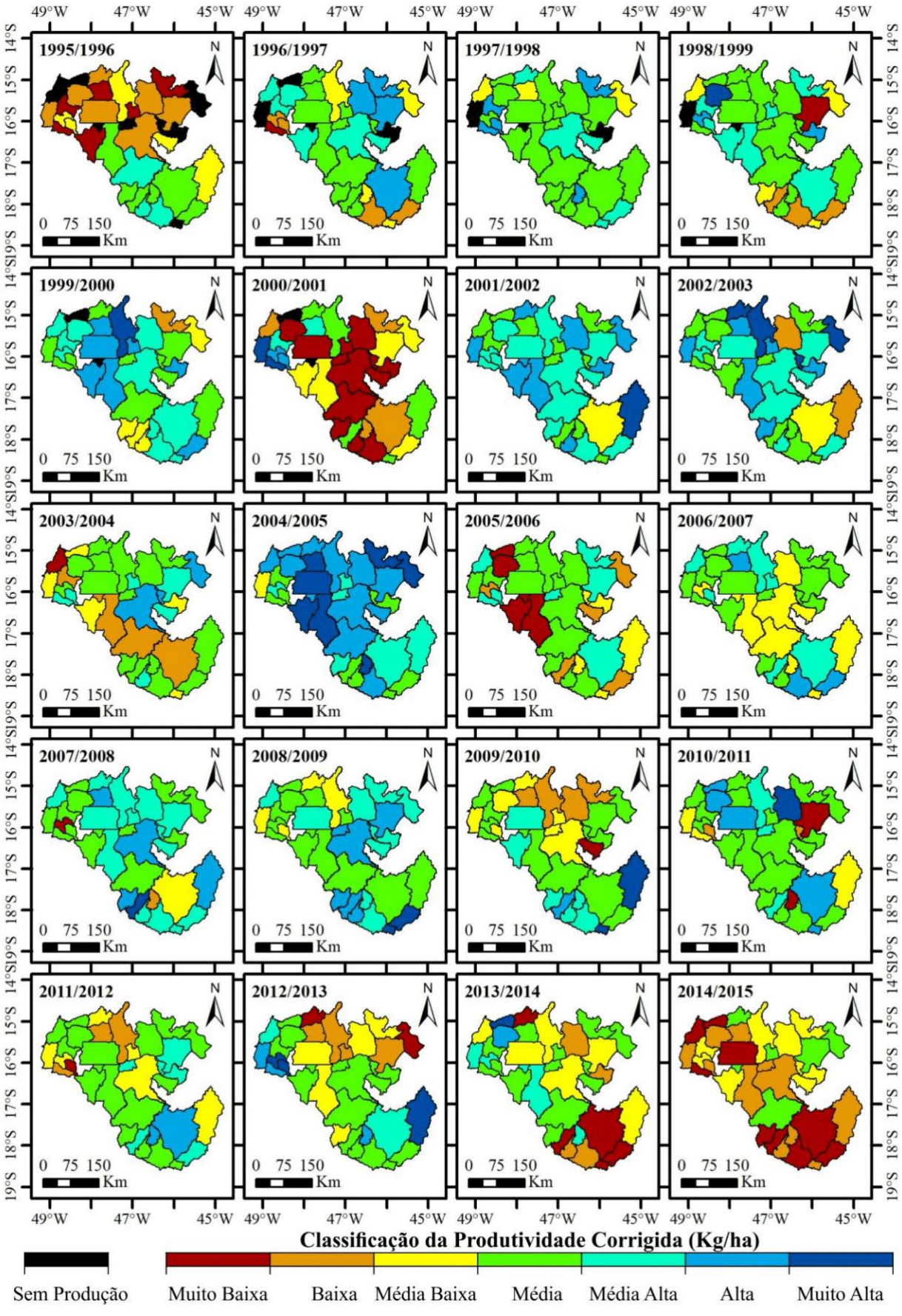
Ao analisar regionalmente as variações interanuais da produtividade por município (Figura 70) foi possível destacar que as reduções mais significativas ocorreram em 2000/2001, 2003/2004, 2005/2006, 2009/2010 e 2014/2015. Em comparação, os anos com variações positivas mais intensas decorreram, principalmente, da “normalização” de um ano anterior com queda de produtividade ou, mais raramente, com o aumento substancial da produtividade em relação aos anos anteriores, como foram os casos dos anos 2001/2002, 2004/2005 e 2007/2008.

Figura 70 - Variação interanual da produtividade anual da soja por município.



Fonte: adaptado de IBGE, 2018. Elaborado pelo autor.

Figura 71 - Classificação da produtividade anual da soja por município no entorno de Unaí-MG



Fonte: adaptado de IBGE, 2018. Elaborado pelo autor.

Quando se contextualiza todos os dados já apresentados de produtividade com a definição da classificação da produtividade por município (Figura 71 e Quadro 11), nota-se que determinados anos agrícolas foram regionalmente e quantitativamente positivos ou negativos ao cultivo da soja na área de estudo. Esse fato pode ser constatado pelos anos de alta e muito alta produtividade (1999/2000 [24,2%], 2001/2002 [28,6%], 2002/2003 [28,5%] e 2004/2005 [54,3%]) contra os anos de baixa e muito baixa produtividade (1995/1996 [48,1%], 2000/2001 [51,5%], 2005/2006 [28,6%], 2013/2014 [25,7%] e 2014/2015 [57,1%]).

Quadro 11 - Frequência anual (%) do total de municípios por classe de produtividade de soja nos anos agrícolas entre 1995/1996 e 2014/2015 no entorno de Unaí-MG.

Classes de Produtividade	Ano Agrícola																			
	1995/1996	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/1200	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Muito Alta	-	-	-	3,0	3,0	6,1	2,9	11,4	-	20,0	-	-	2,9	5,7	5,7	2,9	-	8,6	2,9	-
Alta	-	12,9	15,6	6,1	21,2	6,1	25,7	17,1	8,6	34,3	-	8,6	11,4	17,1	2,9	14,3	5,7	8,6	2,9	-
Média Alta	11,1	19,4	15,6	21,2	30,3	6,1	37,1	25,7	17,1	17,1	20,0	20,0	40,0	28,6	17,1	8,6	17,1	5,7	14,3	-
Média	22,2	38,7	59,4	45,5	30,3	15,2	31,4	37,1	42,9	25,7	37,1	42,9	37,1	37,1	40,0	54,3	48,6	45,7	37,1	17,1
Média Baixa	18,5	12,9	9,4	12,1	12,1	15,2	2,9	2,9	14,3	2,9	14,3	28,6	2,9	11,4	20,0	8,6	17,1	14,3	17,1	25,7
Baixa	25,9	12,9	-	9,1	3,0	12,1	-	5,7	14,3	-	14,3	-	2,9	-	11,4	5,7	8,6	11,4	11,4	31,4
Muito Baixa	22,2	3,2	-	3,0	-	39,4	-	-	2,9	-	14,3	-	2,9	-	2,9	5,7	2,9	5,7	14,3	25,7
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

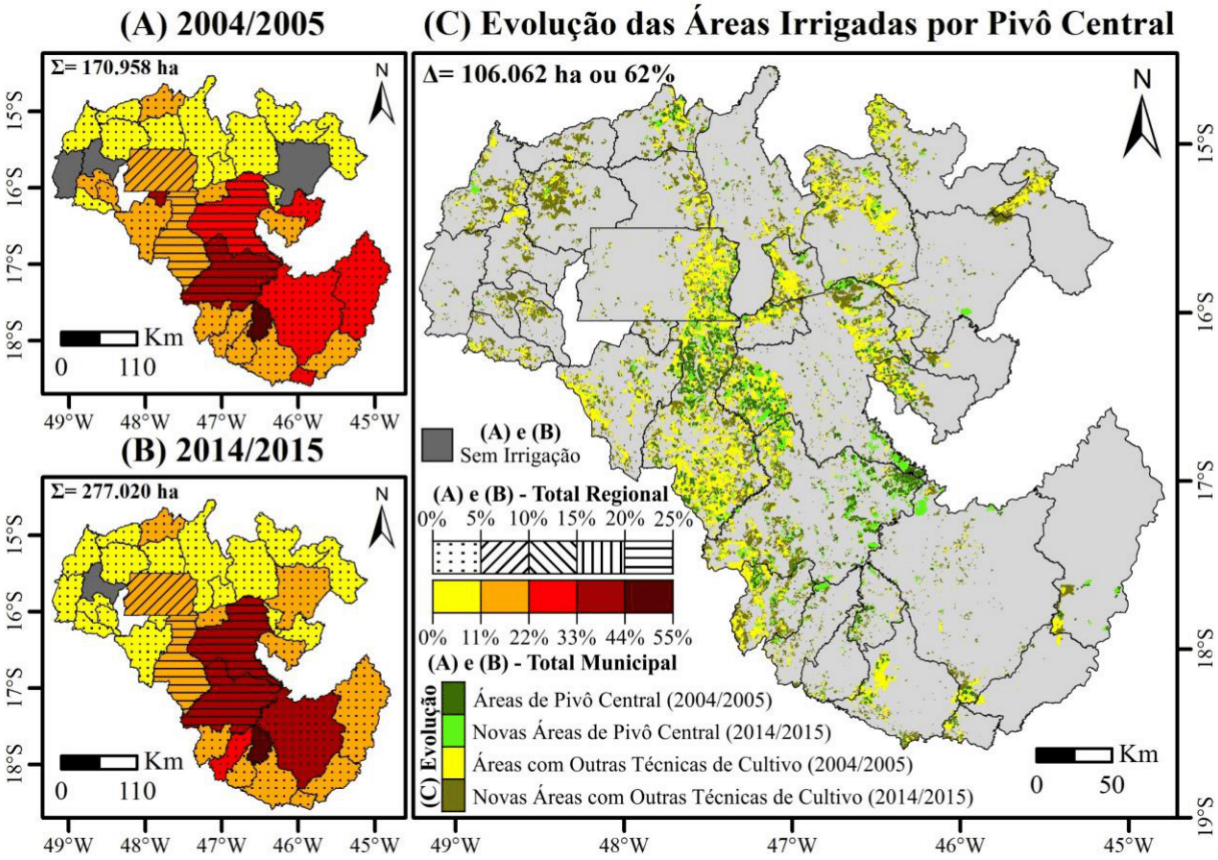
Fonte: adaptado de IBGE, 2018b. Elaborado pelo autor.

Diante dos resultados obtidos pela interpretação dos aspectos e características têmporo-espaciais dos dados climáticos e de produtividade de soja nos municípios do entorno de Unaí entre 1995/1996 e 2014/2015, foi possível definir que os anos agrícolas 2004/2005 (alta produtividade) e 2014/2015 (baixa produtividade) foram os mais representativos dentro do escopo proposto nesse trabalho e por isso serão particularizados nos próximos subcapítulos.

As áreas de cultivo de soja, delimitadas pela técnica de CEI (RIZZI, 2005; RIZZI et al.,2009) e validadas por interpretação visual das imagens dos satélites Landsat 5 e 8 (USGS, 2018), apontaram que os dados do IBGE (2018) subestimaram as áreas de plantio de soja em 8,597% (Δ=50.444,0 ha) em 2004/2005 e 13,687% (Δ=138.375,6 ha) em 2014/2015.

Um importante aspecto do cultivo da soja nas microrregiões refere-se ao método de oferta hídrica das áreas de plantio. Enquanto a técnica de sequeiro depende exclusivamente da oferta pluvial no decorrer do crescimento da soja, as técnicas de irrigação possibilitam mitigar o feito dos períodos de veranico e satisfazer as necessidades hídricas dos cultivos. Dentre as técnicas de irrigação utilizadas, a aspersão por pivô central é amplamente empregada no cultivo da soja e, por isso, foi quantificada sua participação na área plantada por município (Figura 72).

Figura 72 - Presença de áreas com irrigação (pivô central) em relação à produção municipal e regional nas lavouras de soja: 2004/2005, 2014/2015 e sua evolução têmporo-espacial.

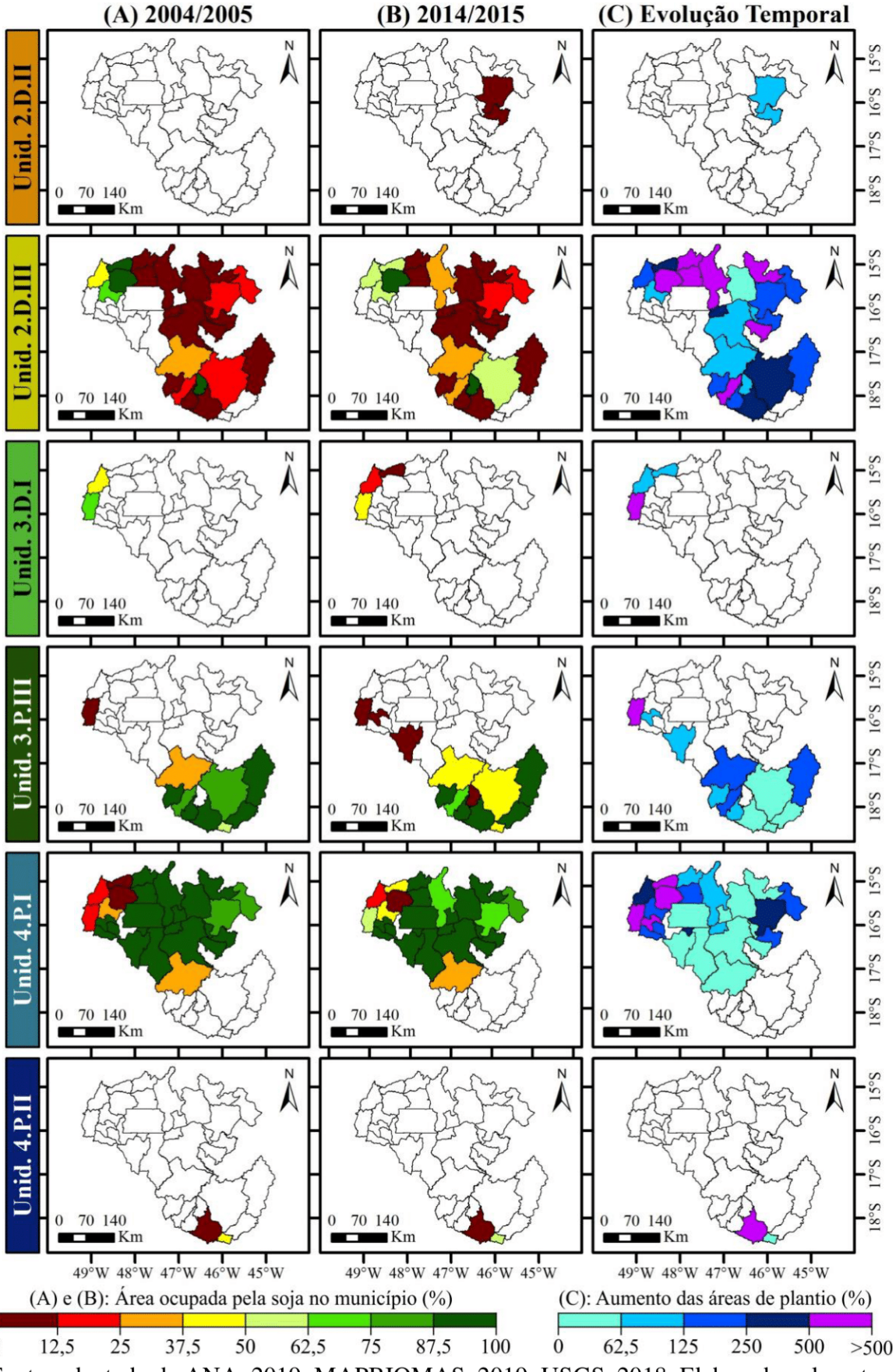


Fonte: adaptado de ANA, 2019; MAPBIOMAS, 2019; USGS, 2018. Elaborado pelo autor.

A evolução temporal das áreas de plantio com irrigação por pivô central apontou o aumento de 106.062 ha (62%) em 10 anos. O total geral de áreas com pivô central em 2004/2005 e 2014/2015 em relação às demais áreas de cultivo de soja representaram, respectivamente, 19% e 18,5% de todo o plantio, os quais estiveram proporcionalmente concentrados (65,8% e 63,6%) em Cristalina (24,1% e 20,2%), Unaí (21,3% e 21,9%) e Paracatu (20,4% e 21,5%). A participação das áreas irrigadas em relação a toda área plantada por município foram mais expressivas em: (a) 2004/2005 em Lagoa Grande (53,7%), Cidade Ocidental (40,8%), Paracatu (37,2%), Buritizeiro (28,9%) e Unaí (28,1%); (b) 2014/2015 em Lagoa Grande (50,5%), João Pinheiro (38,1%) Paracatu (34,9%), Unaí (33,3%) e Vazante (22,4%).

A seleção dos anos agrícolas 2004/2005 e 2014/2015 possibilitou compreender espacialmente a relação entre a evolução temporal das áreas destinadas ao plantio de soja e suas respectivas sobreposições com as características das unidades climáticas médias (Figura 73 e Tabela 18), possibilitando indicar quais unidades apresentaram maior ou menor crescimentos.

Figura 73 - Ocorrência de lavouras de soja nos municípios produtores e sua relação com as unidades climáticas médias: anos 2004/2005, 2014/2015 e suas variações têmporo-espaciais.



Fonte: adaptado de ANA, 2019; MAPBIOMAS, 2019; USGS, 2018. Elaborado pelo autor.

Tabela 18 - Dinâmica temporal de expansão das lavouras de soja entre os anos agrícolas 2004/2005 e 2014/2015 nas unidades climáticas médias nas microrregiões do entorno de Unaí

Microrregiões		Crescimento das lavouras nas unidades climáticas médias (%)						Expansão Total	
		2.D.II	2.D.III	3.D.I	3.P.III	4.P.I	4.P.II	%	ha
Brasília		-	-	-	-	43,9	-	43,9	23.841
Entorno de Brasília		-	439,0	154,2	1.266,7	72,8	-	90,4	215.080
Januária		-	191,1	-	-	141,1	-	148,8	14.944
Paracatu		-	132,0	-	85,3	66,7	117,9	92,5	130.024
Pirapora		100,0	162,6	-	149,0	182,3	-	157,2	10.152
Unaí		100,0	129,4	-	-	58,9	-	62,9	118.143
Expansão	**ha**	**1.330**	**101.753**	**3.645**	**81.445**	**321.781**	**2.229**	**-**	**512.184**
Total	**%**	**-**	**198,7**	**154,2**	**88,7**	**65,7**	**117,9**	**-**	**80,4**

Fonte: elaborado pelo autor.

A ampla maioria das áreas de lavoura de soja em 2004/2005 e 2014/2015 estiveram concentradas, respectivamente, nas unidades climáticas médias 4.P.I (76,9% e 70,6%) e 3.P.III (14,4% e 15,1%), seguidas em menor proporção pelas unidades 2.D.III (8% e 13,3%), 3.D.I (0,4% e 0,5%), 4.P.II (0,3% e 0,4%) e 2.D.II (0% e 0,1%). Os maiores crescimentos absolutos ocorreram nas unidades 4.P.I (324.781 ha), 2.D.II (101.753 ha) e 3.P.III (81.445 ha) e com importante crescimento relativo nas unidades 2.D.II (198,7%), 3.D.I (154,2%), 4.P.II (117,9%), 3.P.III (88,7%) e 4.P.I (65,7%).

O incremento de 80,4% das áreas de plantio em 10 anos foi majoritariamente concentrado nas microrregiões do Entorno de Brasília (215.080 ha), de Paracatu (130.024 ha) e de Unaí (118.143 ha) que juntas representaram 90,4% da expansão produtiva nas microrregiões

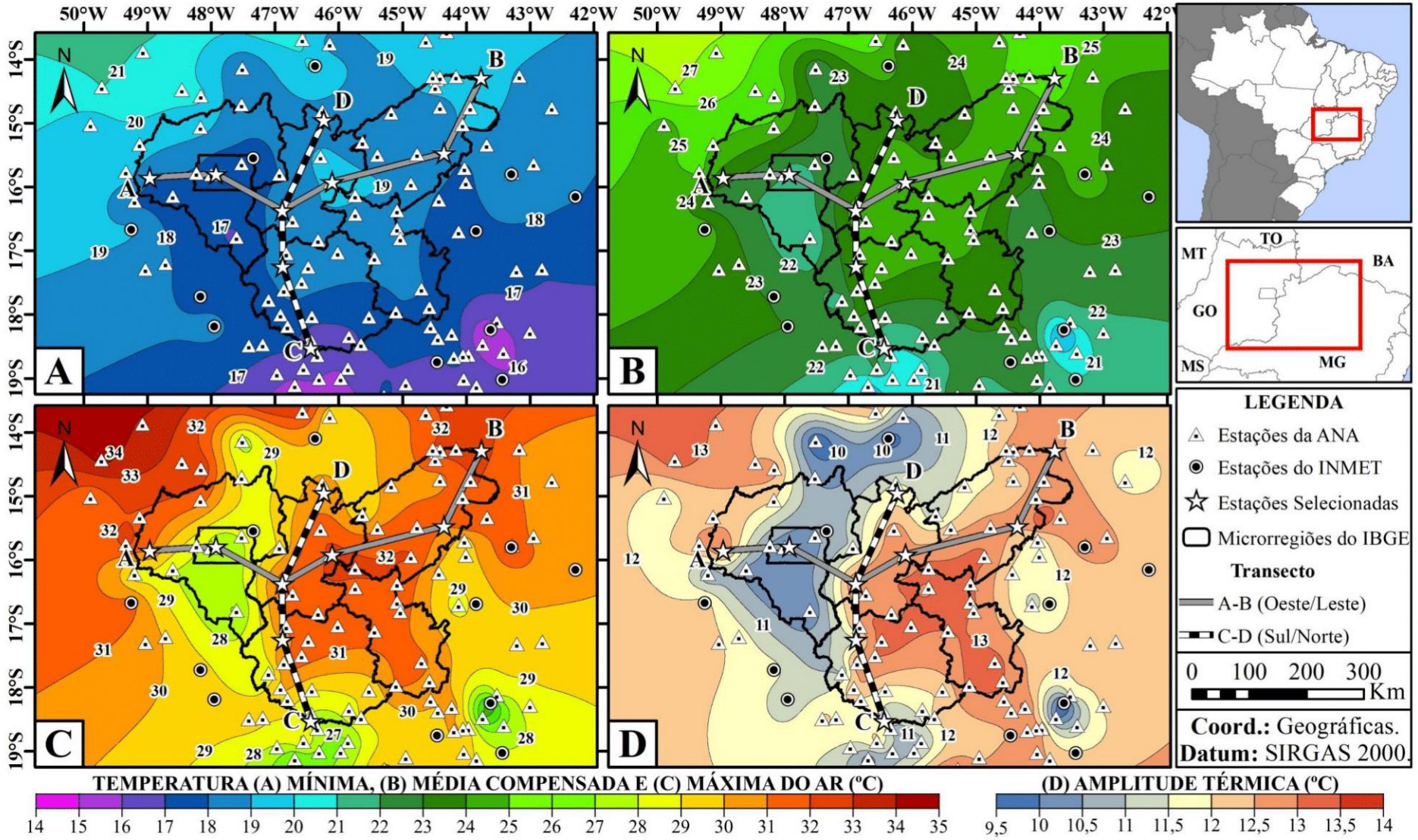
A seguir serão descritos e analisados os recortes temporais dos anos agrícolas 2004/2005 e 2014/2015, com o objetivo de detalhar, correlacionar e delimitar o papel de influência dos elementos climáticos e das unidades climáticas anuais nas condições fenológicas médias das plantas de soja nas microrregiões analisadas.

5.4 ANO AGRÍCOLA 2004/2005

O ano agrícola 2004/2005 possuiu como principal característica climática a ocorrência de evento EN de intensidade fraca (NOAA, 2018). O Canal Rural (2019) explica que esse fenômeno atuou em conjunto com as águas mais frias do Oceano Atlântico e proporcionaram irregularidade das chuvas na primavera e forte estiagem no verão (fevereiro e março) para Região Sul do Brasil. Essas características impactaram a produção agrícola e resultaram em frustração da perspectiva de colheita dos produtores pela maior quebra de safra da história da região.

Constatou-se que os aspectos agroclimáticos da região Sul foram diferentes em relação às condições térmicas anuais e de produtividade da soja no entorno de Unaí (Figura 74 e Tabela 19).

Figura 74 - Médias anuais das Temperaturas do ar (A) Mínima, (B) Média Compensada, (C) Máxima e (D) Amplitude: 2004/2005.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Tabela 19 - Desvio absoluto (ºC) da média da temperatura do ar nas microrregiões do entorno de Unaí-MG no ano agrícola 2004/2005 em relação à média entre 1995/1996 e 2014/2015.

Temperatura			Microrregiões						Síntese
			Brasília	Ent. de Brasília	Januária	Paracatu	Pirapora	Unaí	Regional
Desvio absoluto (ºC)	Máxima	Máxima	0,0	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,1	0,1
		Média	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1
		Mínima	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3
	Media Comp.	Máxima	0,1	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,1
		Média	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
		Mínima	0,0	-0,1	-0,3	-0,1	-0,2	-0,1	-0,3
	Mínima	Máxima	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5
		Média	0,0	0,0	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
		Mínima	-0,1	-0,2	-0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2
	Amplitude	Máxima	0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,1
		Média	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1
		Mínima	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,6	-0,6

Fonte: elaborado pelo autor.

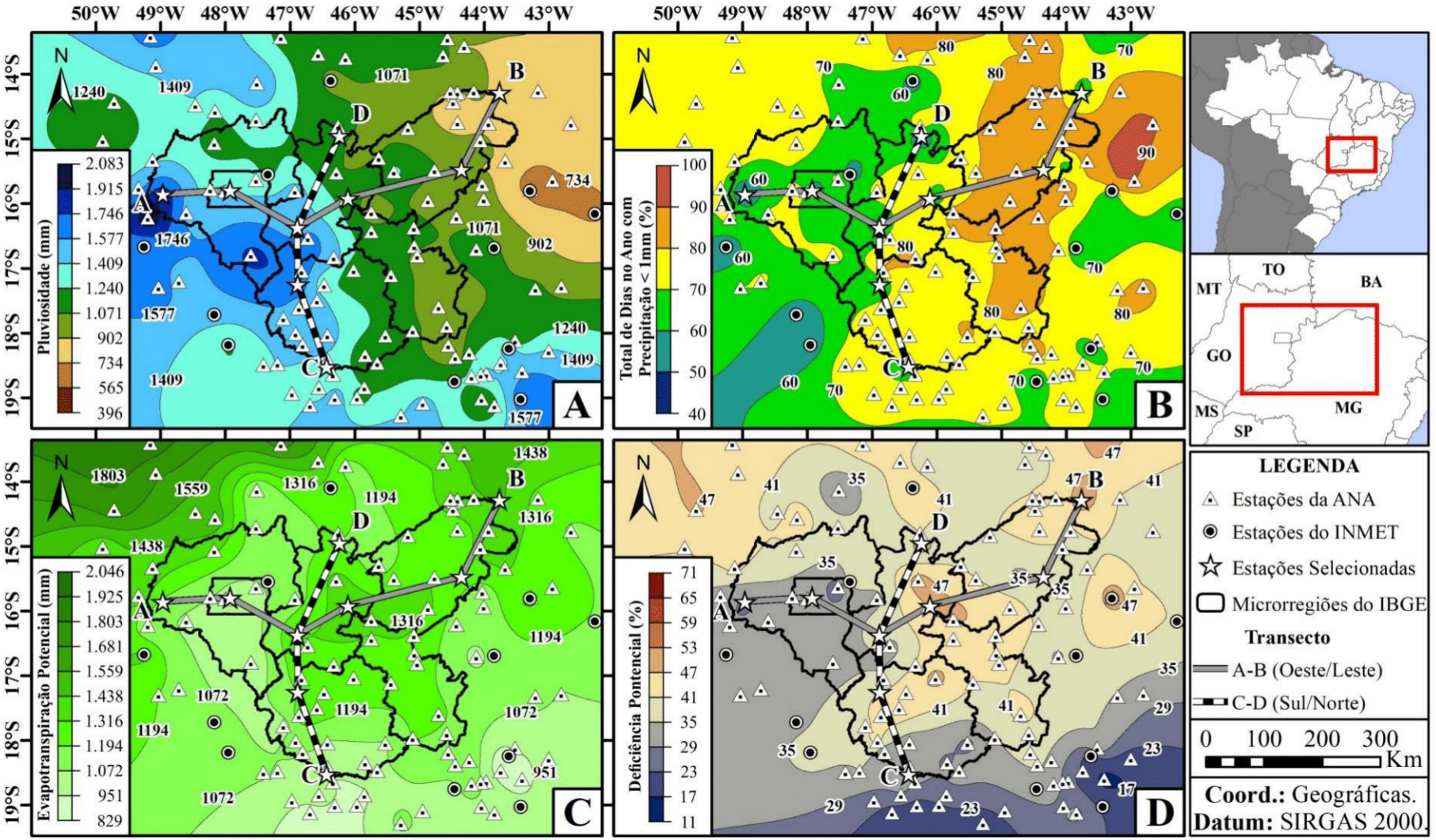
O padrão espacial das variáveis térmicas analisadas (temperaturas máxima, média compensada, mínima e amplitude térmica) apresenta estreitas semelhanças (valores médios e configuração espacial das isotermas) com as características médias dos 20 anos (Figura 36, p. 102), com as porções centro-oeste e sul mais frias (maior altitude) e a depressão da bacia do Rio São Francisco na porção centro-leste mais quente (menor altitude).

Os desvios médios de toda a área de estudo apresentam pouca (-0,1ºC para as temperaturas média compensada, máxima e amplitude térmica) ou nenhuma variação (temperatura mínima) em relação à média histórica. Essa mesma condição esteve presente nos desvios médios por microrregião, através da temperatura: mínima, com -0,1ºC em Januária e 0,1ºC em Paracatu, Pirapora e Unaí; média compensada, com -0,2ºC em Januária e -0,1ºC em Pirapora e Unaí; e máxima, com -0,1ºC em Paracatu/Unaí e -0,2ºC em Januária e Pirapora. Nas demais microrregiões as temperaturas médias foram as mesmas das médias dos 20 anos.

A distribuição geográfica dos totais pluviométricos (Figura 75A) apresentou muitas similaridades em relação às condições médias dos 20 anos analisados (Figura 37A, p. 104), exceto pelos maiores volumes acumulados na porção central (microrregiões de Brasília, Entorno de Brasília e Unaí), simbolizado pelo avanço das isoietas entre 1.706mm e 1.240mm rumo à leste, além da inexistência da isoieta 734mm no extremo nordeste da microrregião de Januária.

Ao analisar os desvios dos totais pluviais no ano agrícola 2004/2005 (Tabela 20) contatou-se que a média regional foi 3,3% superior à média histórica (1995/1996 a 2014/2015), enquanto que nas microrregiões essas variações foram de -0,6% em Brasília, 1% no Entorno de Brasília, 2,4% em Pirapora, 4% em Januária, 4,3% em Unaí e 5,4% em Paracatu.

Figura 75 - (A) Espacialização da pluviosidade, (B) Total de dias com precipitação menor que 1mm, (C) Evapotranspiração Potencial, (D) Déficit de Evapotranspiração Relativa no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2004/2005.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Tabela 20 - Desvio relativo (%) da precipitação e do total de dias secos nas microrregiões do entorno de Unaí no ano agrícola 2004/2005 em relação à média entre 1995/1996 e 2014/2015.

Variável Climática			Microrregiões						Síntese Regional
			Brasília	Ent. de Brasília	Januária	Paracatu	Pirapora	Unaí	
Desvio relativo (%)	Precipitação Acumulada	Máxima	7,2	24,5	20,3	27,6	18,0	30,5	30,5
		Média	-0,6	1,0	4,0	5,4	2,4	4,3	3,3
		Mínima	-8,2	-11,5	-12,1	-17,1	-11,2	-12,2	-17,1
	Total de Dias Secos (P<1mm)	Máxima	2,4	2,7	2,5	4,1	3,0	2,2	4,1
		Média	-6,3	-5,0	-1,5	-1,1	-0,6	-6,3	-3,1
		Mínima	-23,1	-25,9	-18,8	-19,4	-9,4	-29,1	-29,1

Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

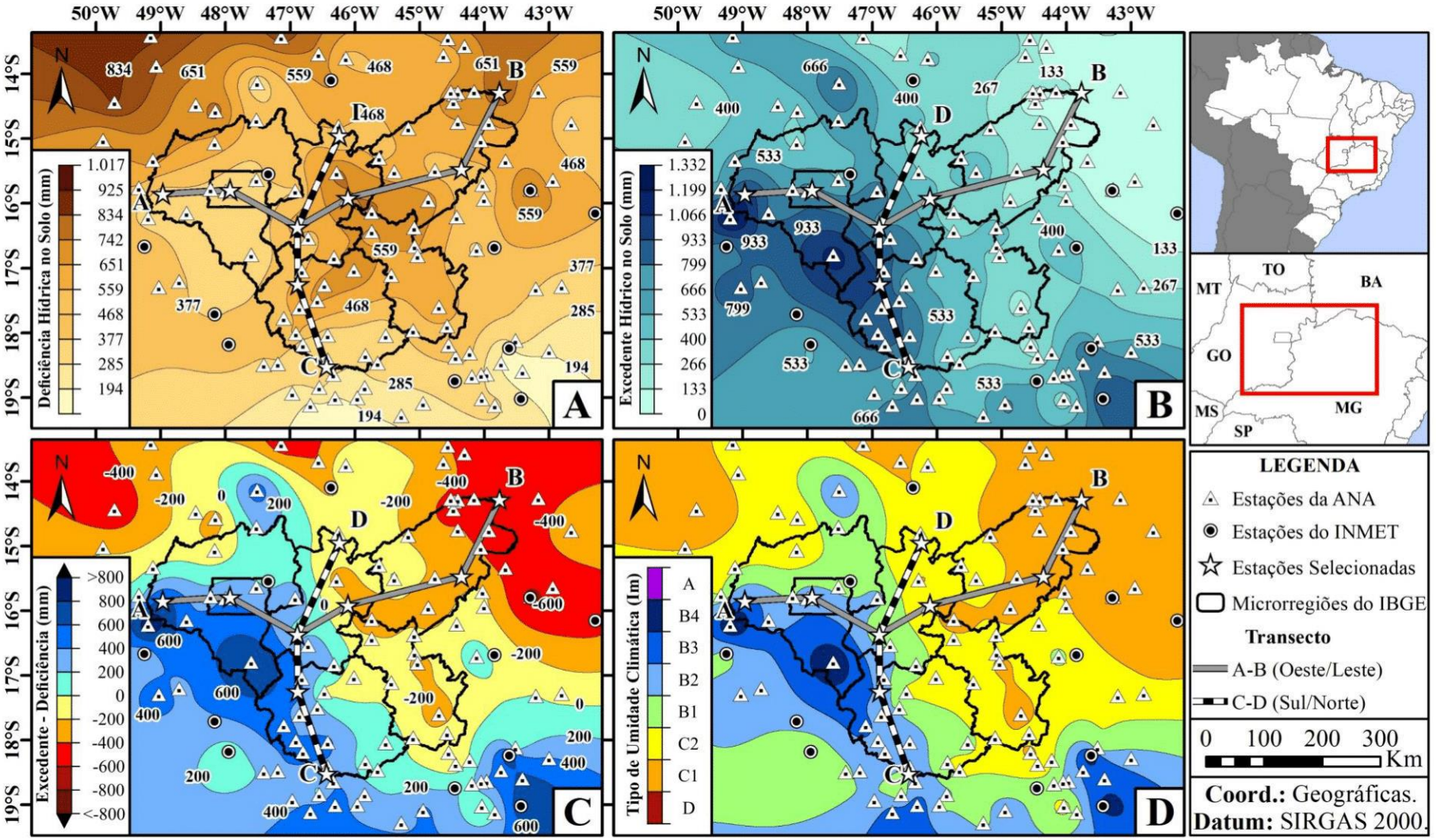
Os desvios positivos e negativos da pluviosidade mais acentuados em comparação à média histórica por microrregião foram, respectivamente, de: 30,5% (Unaí), 27,6% (Paracatu), 24,5% (Entorno de Brasília), 20,3% (Januária) 18% (Pirapora) e 7,2% (Brasília); -17,1% (Paracatu), -12,2% (Unaí), -11,5 (Entorno de Brasília), -11,2 (Pirapora) e -8,2% (Brasília).

A configuração espacial e os desvios médios do total de dias secos no ano (Figura 75B e Tabela 20) apontam reduções significativas de dias com precipitação menor que 1mm na porção ocidental em relação à média histórica (-3,1%), principalmente nas microrregiões de Brasília e Unaí (-6,3%), além do Entorno de Brasília (-5%). Esse fato pode ser explicado em razão dos maiores volumes pluviais acumulados na porção centro-oeste (Figura 75A) terem sido temporalmente distribuídos em mais dias durante o período chuvoso.

Como os valores quantitativos e a disposição espacial das isotermas de temperatura média compensada foram parecidos com a média dos 20 anos, respectivamente, as Figuras 74B e 36B (p. 102), praticamente não houve alterações da ET_p acumulada no ano 2004/2005 (Figura 75C). Porém, verificou-se pela Figura 75D que a DER foi mais acentuada na depressão da bacia do Rio São Francisco, indicando que a ET_r foi mais intensa nessas áreas ao representar 41% a 53% de restrição hídrica nessas localidades.

As condições quantitativas (volumes acumulados) e qualitativas (espacialização do fenômeno) de saída (Figura 76A) e entrada (Figura 76B) de água no solo do ano 2004/2005 e suas variações com as médias entre 1995/1996 e 2014/2015 (Figuras 38A e 38B, p. 107) possibilitaram identificar as seguintes diferenças do BHC: (a) intensificação da DEF para oeste, sobretudo nas áreas de menor altitude da porção centro-leste (468mm a 651mm); (b) maiores volumes acumulados de EXC em todo setor centro-oeste (666mm a 1.066mm), fruto dos elevados volumes precipitados nas localidades situadas no quadrante ocidental. As diferenças de EXC e DEF encontradas são melhor compreendidas no BHC na escala mensal.

Figura 76 - Espacialização da (A) Deficiência e do (B) Excedente Hídrico no solo, (C) Diferença entre Excedente e Deficiência Hídrica no Solo e (D) Tipo de Umidade Climática (Im) no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2004/2005.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

A diferença aritmética entre os totais acumulados de EXC e DEF (Figura 76C) em relação às características médias dos 20 anos aponta que os volumes positivos de água no solo foram acentuados na porção oeste e deslocados em direção à leste, com ocorrência de "ilhas" que representam totais hídricos superiores a 600mm de EXC. Em contrapartida, houve a diminuição da intensidade e representatividade espacial das áreas de DEF na porção centro-oriental, incluindo a ausência de localidades com valores acumulados negativos inferiores a -600mm de água no solo no extremo nordeste da microrregião de Januária (Figura 38C, p. 107).

Quando se compara a configuração espacial das tipologias de umidade climática do BHC (Figura 76D) do ano 2004/2005 com as médias históricas (Figura 38D, p. 107) foi possível perceber o incremento areal das classes Úmido (B4 e B3) na porção oeste/sudoeste e o avanço das classes Úmido (B1) e Subúmido chuvoso (C2) rumo às áreas de menor altitude situadas a à leste, além da considerável redução da classe Subúmido Seco (C1). As características descritas e demonstradas pelos mapas podem ser quantitativamente mensuradas pelo confronto das 21 e Tabelas 11 (p. 106), que em seu conjunto possibilitam afirmar que no ano agrícola em análise houve a expansão de áreas mais úmidas rumo à leste em detrimento das áreas secas presentes nos dados médios de 1995/1996 a 2014/2015.

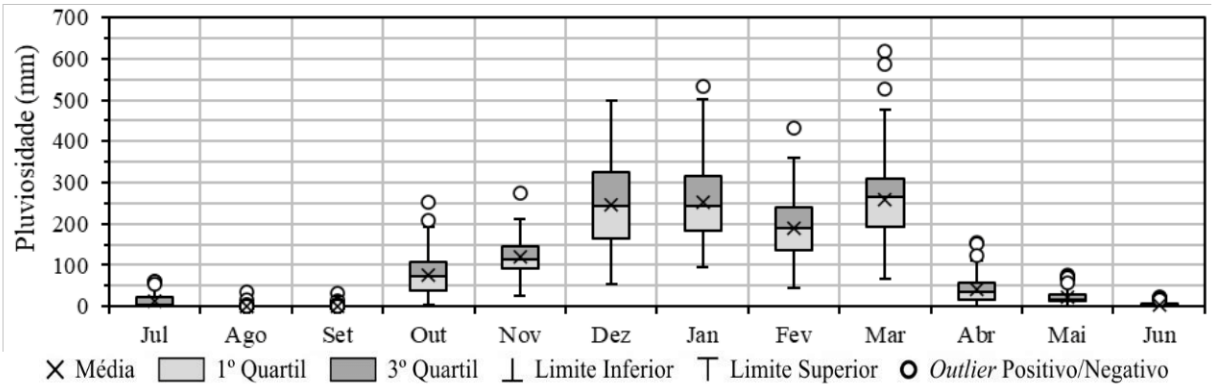
Tabela 21 - Área ocupada (%) pelas classes do Índice de Umidade (Im) do Balanço Hídrico nas microrregiões do entorno de Unaí-MG no ano agrícola 2004/2005.

Tipo de Umidade Climática	Microrregiões						Total
	Brasília	Ent. de Brasília	Januária	Paracatu	Pirapora	Unaí	
A - Superúmido	-	-	-	-	-	-	-
B4 - Úmido	-	2,1	-	-	-	-	2,1
B3 - Úmido	0,0	5,5	-	2,5	-	0,4	8,4
B2 - Úmido	2,3	3,9	-	7,0	-	2,0	15,3
B1 - Úmido	1,2	8,5	-	6,6	0,0	5,6	22,0
C2 - Subúmido chuvoso	-	3,4	5,0	5,4	11,2	8,4	33,4
C1 - Subúmido seco	-	-	15,4	-	3,0	0,5	18,9
D - Semiárido	-	-	-	-	-	-	-
Total	**3,6**	**23,5**	**20,4**	**21,5**	**14,2**	**16,9**	**100,0**

Fonte: elaborado pelo autor.

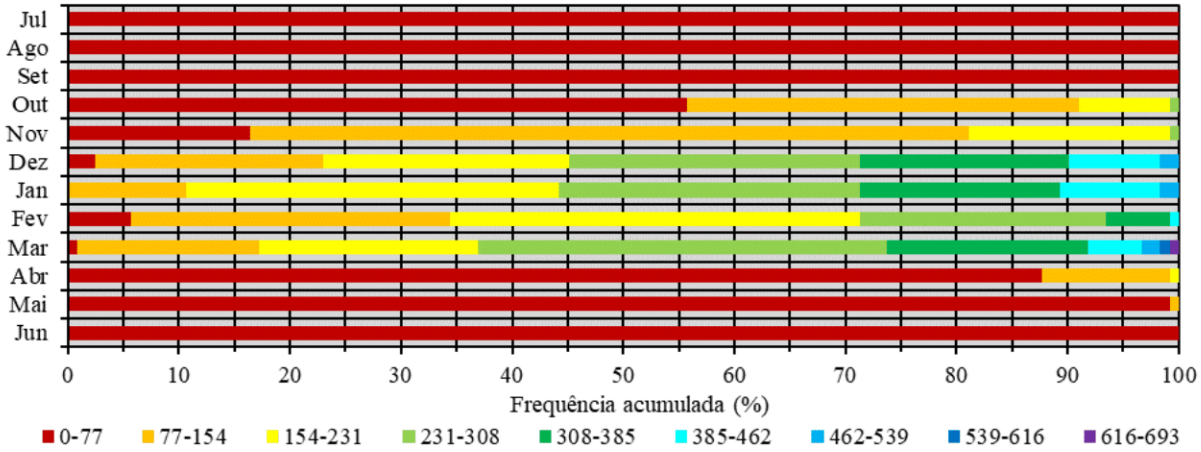
Por mais que os dados climáticos do ano agrícola 2004/2005 ofereçam um importante entendimento da síntese climática regional no entorno de Unaí, a decomposição dos dados pluviotérmicos em outras escalas temporais permitiu identificar como ocorre a variabilidade desses elementos ao longo da sazonalidade climática. Para isso, foram construídos os gráficos mensais de *Box-Plot* (Figura 77) e histograma (Figura 78) da pluviosidade das 122 estações analisadas, buscando evidenciar a distribuição temporal dos totais acumulados.

Figura 77 - Gráfico de *Boxplot* da pluviosidade mensal do ano 2004/2005 no entorno de Unaí



Fonte: ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 78 - Histograma da precipitação mensal para o ano 2004/2005 no entorno de Unaí-MG



Fonte: ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

No conjunto das estações analisadas, a distribuição dos totais acumulados e das classes de pluviosidade do ano agrícola 2004/2005 apontam que o período de estiagem, compreendido pelos meses de inverno (julho a setembro) e outono (abril a junho), foi comparativamente mais seco que a média dos 20 anos, com exceção dos desvios positivos das médias de julho (10mm ou 402,4%) e maio (4,2mm ou 22,4%).

Em oposição, o período chuvoso indicou diferenças substanciais nos dados mensais de precipitação em comparação às médias históricas, com destaque para: (a) primavera mais seca, com diminuição dos maiores volumes e, consequentemente, das médias, principalmente em outubro (-10,5% de média e redução das classes de 154mm a 539mm entre -2,8% e -0,1%), novembro (-43,2% de média e aumento das classes de 0mm-77mm [11,2%] e 77mm-154mm [40,6%] em detrimento das classes entre 154mm a 539mm) e dezembro (-3% de média, ocasionando, principalmente, pelo aumento de 6,4% da classe 77mm a 154mm); (b) verão chuvoso, com elevação das médias (28,1% em janeiro, 32,5% em fevereiro e 43,1% em março) devido ao aumento percentual das classes de maior intensidade de chuva.

Ao detalhar temporalmente as condições pluviotérmicas e do BHC do ano agrícola 2004/2005, através das estações meteorológicas situadas nos transectos A-B (Figura 79) e C-D (Figura 80), foi possível compreender parte das condições climáticas mensais em diferentes localidades.

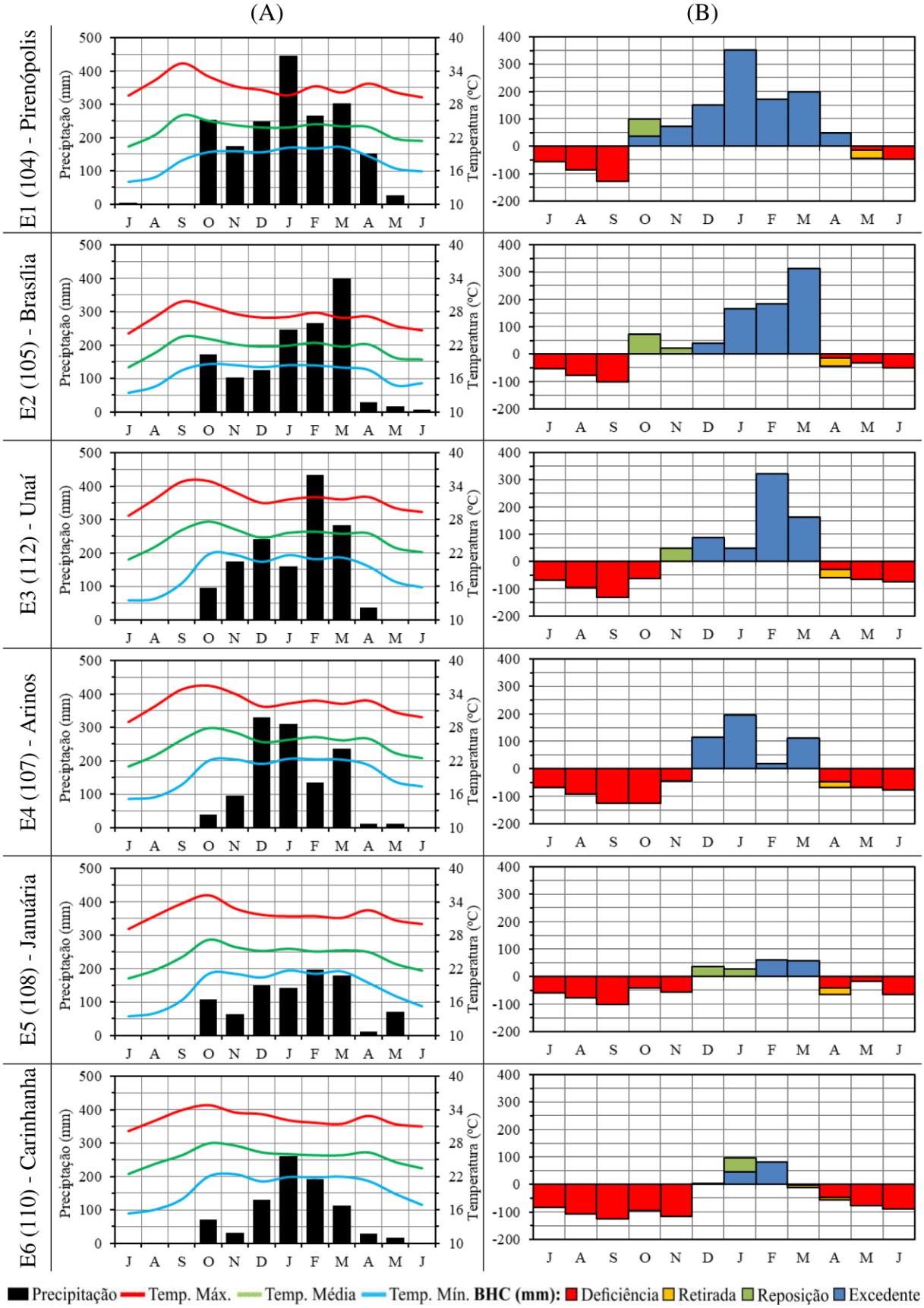
As características térmicas do ar indicam que as menores médias, tanto da mínima, média compensada e máxima dos transectos A-B (Figura 79A) e C-D (Figura 80A), ocorreram no mês de julho e variaram, respectivamente, entre 12,9ºC (E7-Patos de Minas) e 15,3ºC (E6-Carinhanha), 17,8ºC (E7-Patos de Minas) e 22,5ºC (E6-Carinhanha), e 24ºC (E2-Brasília) e 30,1ºC (E6-Carinhanha). Já as diferenças relativas às maiores temperaturas foram entre 18,6ºC (outubro em E2-Brasília) e 22,4ºC (novembro em E6-Carinhanha) para mínima, 23,5ºC (setembro em E2-Brasília) e 27,9ºC (outubro em E4-Arinos e E6-Carinhanha) para média compensada e 29,8ºC (setembro em E2-Brasília) e 35,5ºC (outubro em E4-Arinos) para máxima.

As variações térmicas encontradas apontam forte influência dos controles estáticos e dinâmicos do clima, devido: (a) as menores médias estarem majoritariamente concentradas em E2-Brasília, em virtude da maior altitude regional, e E7-Patos de Minas, por estar localizada no ao sul da área de estudo e ser provavelmente influenciada pela maior recorrência de incursões de sistemas de origem extratropical como a FPA e a mPa; (b) a estação E6-Carinhanha está posicionada no extremo leste e foi a mais quente em quase todos os cenários analisados, em razão da menor altitude regional e sua posição latitudinal indicarem possível redução de atuação de sistemas extratropicais e maior presença da Massa Tropical Atlântica (mTa), que em conjunto acentuam a influência da continentalidade nessa área.

Os gradientes dos acumulados de pluviosidade anual nas estações dos transectos para as médias dos 20 anos, com as porções oeste e sul mais chuvosos e diminuição gradativa rumo à leste e norte, estiveram parcialmente presentes no ano 2004/2005, com exceção de E2-Brasília que apresentou 1.361,6mm e desvio relativo de -8,3%. A distribuição dos totais pluviais ao longo dos meses do período chuvoso (Figuras 79A e 80A) não apresentou reduções quantitativas relevantes em comparação às médias entre 1995/1996 e 2014/2015 (Figuras 45A e 46A, p. 117-118), com exceção de novembro em todas as estações dos transectos A-B (-31,2%, -57%, -26,8%, -53,4%, -67% e -82,6%) e C-D (-58,6%, -34,8%, -26,8% e -68,6%).

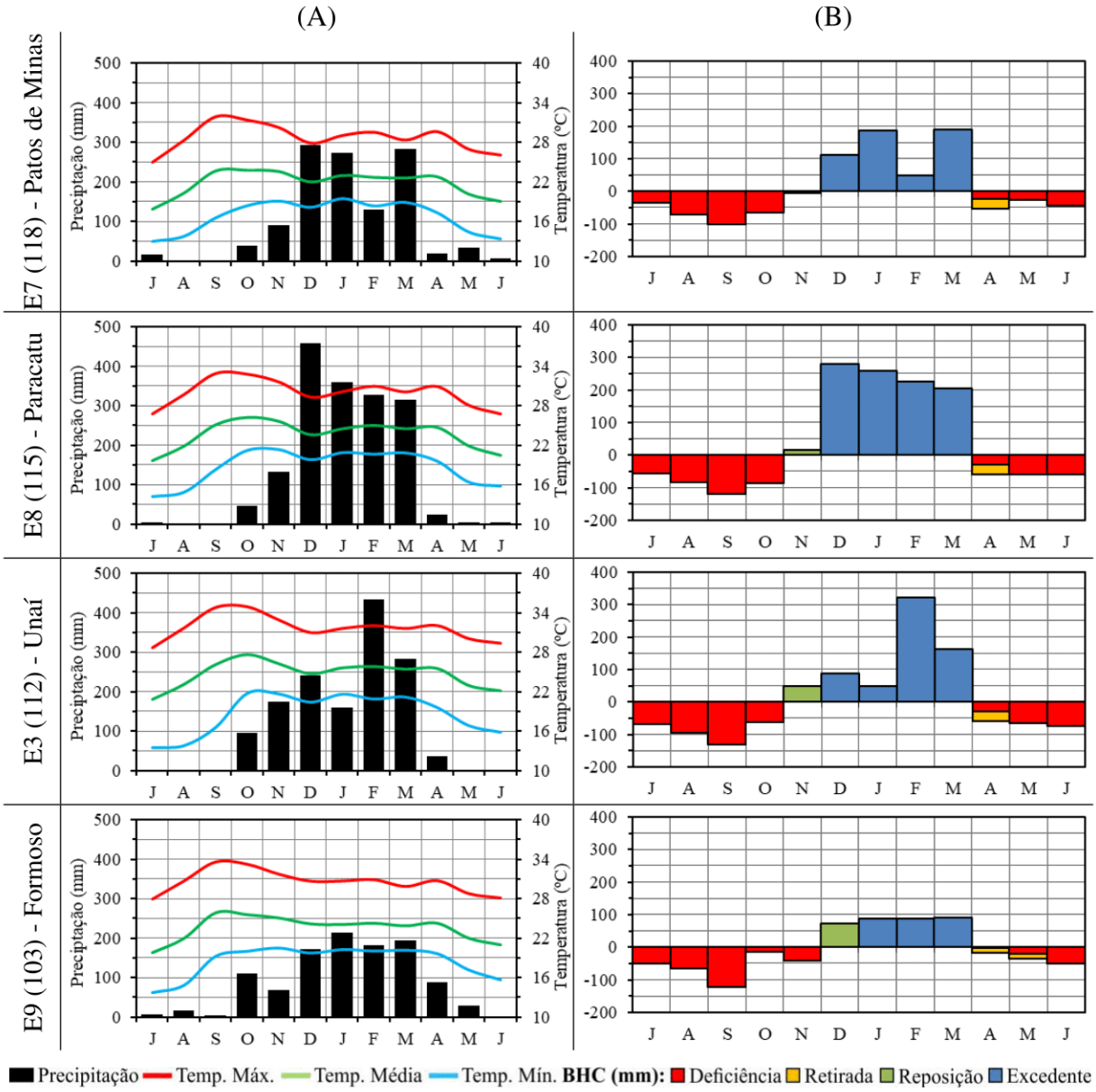
Ao relacionar as variações das condições pluviotérmicas inerentes à cada estação situada nos transectos com suas respectivas características do BHC foi possível identificar que os volumes de EXC e reposição de água no solo sofreram fortes oscilações no decorrer do ano, porém, não houve ocorrência de episódios de DEF no período chuvoso (Figuras 75B, 75B).

Figura 79 - (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico (BH) mensal do ano 2004/2005 para as estações situadas no transecto A-B (Oeste/Leste).



Fonte: INMET, 2018b. Elaborado pelo autor.

Figura 80 - (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico (BH) mensal do ano 2004/2005 para as estações situadas no transecto C-D (Sul/Norte).



Fonte: INMET, 2018b. Elaborado pelo autor.

O início do período chuvoso proporcionou volume de EXC em outubro somente em E1-Pirenópolis, diferentemente das condições presentes nas médias históricas de 1995/1996 a 2014/2015.

Além de outubro, as características térmicas e pluviais do ano agrícola 2004/2005 permitiram que somente E1-Pirenópolis possuísse EXC em novembro, tendo as demais localidades as seguintes alterações para esse mês em comparação às médias dos 20 anos do BHC (Quadro 12 e Figuras 45B e 46B, p. 117-118): de EXC para reposição hídrica em E2-Brasília, E3-Unaí e E8-Paracatu; de reposição hídrica para DEF em E4-Arinos, E5-Januária e E6-Carinhanha; e de EXC para DEF em E7-Patos de Minas e E9-Formoso.

Quadro 12 - Total de meses com Excedente ou Deficiência hídrica nos transectos A-B e C-D no ano agrícola 2004/2005 e seus desvios em relação à média entre 1995/1996 a 2014/2015.

Variável do Balanço Hídrico	Síntese	Transecto A-B						Transecto C-D			
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E3	E9
Excedente Hídrico	Σ	7	4	4	4	2	2	4	4	4	3
	Δ	+1	-2	-1	-	-2	+1	-1	-1	-1	-2
Deficiência Hídrica	Σ	5	6	7	8	8	9	8	7	7	8
	Δ	-	+1	-	+1	+1	-1	+1	-	-	+1

Fonte: adaptado de INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

As variações do BHC entre o ano em análise e as médias históricas (Quadro 12) também indicam alterações nos meses de dezembro em E5-Januária (EXC para reposição), fevereiro em E6-Carinhanha (DEF para EX) e abril em E2-Brasília (EXC para DEF).

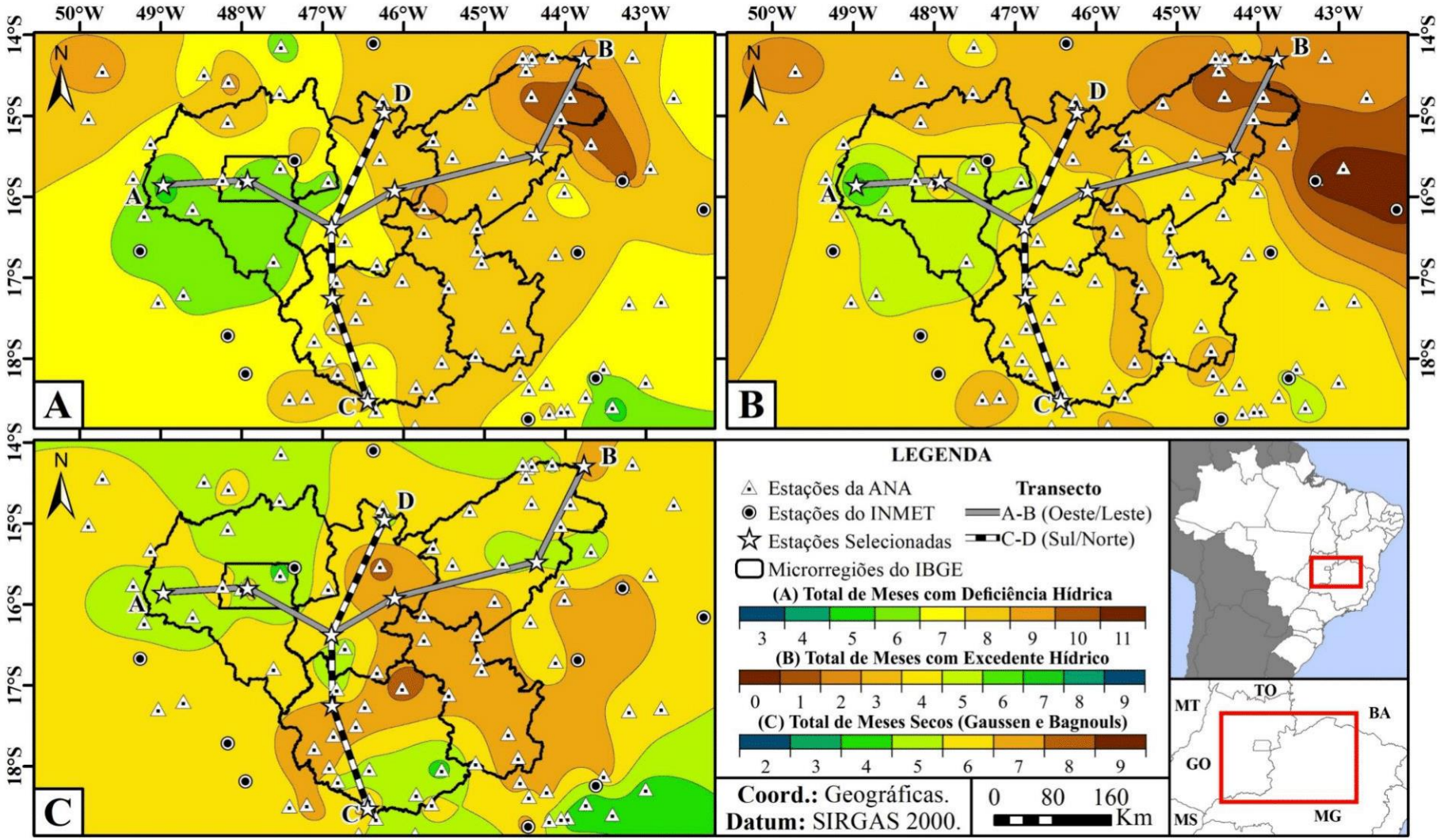
Ao espacializar os totais de meses com DEF (Figura 81A) e compará-los às médias históricas (1995/1996 a 2014/2015) foi possível identificar o aumento de intensidade na porção centro-oeste (cinco a sete meses para seis a oito meses), além do acréscimo de um mês (sete para oito meses) em quase toda a porção centro-leste.

Consequentemente ao que foi apresentado para os dados de DEF, a espacialização da quantidade de meses de EXC no ano agrícola 2004/2005 (Figuras 81B) e suas relações com as médias dos 20 anos demonstram que houve reduções de um a dois meses em quase todas as microrregiões, passando de sete a cinco meses para cinco a três meses na porção centro-oeste, além de alterações na ordem de cinco a três meses para quatro a três meses na porção centro-leste. A única exceção fica por conta do extremo nordeste da microrregião de Januária, que apresentou acréscimo de um mês de EXC (zero a um mês para um a dois meses).

Quando se analisa a distribuição geográfica da quantidade de meses secos pela metodologia de Gaussen e Bagnouls (Figura 81C) e suas alterações em relação às médias entre 1995/1996 a 2014/2015 foi possível verificar o aumento substancial em quase todas as microrregiões, excluindo Brasília e partes da porção centro-oeste do Entorno de Brasília que mantiveram o mesmo quantitativo (cinco meses). Nas demais microrregiões houve modificações nos padrões espaciais de intensidade do período de estiagem, com diminuição de um mês seco no extremo nordeste da microrregião de Januária e o aumento de um a dois meses em todas as outras localidades (cinco a seis para seis a oito meses secos).

A explicação da anomalia negativa ou positiva de um mês para as variáveis, respectivamente, de redução de meses com EXC e aumento de meses com DEF e secos (Gaussen e Bagnouls) em praticamente toda a área foi resultado das condições pluviotérmicas já descritas para o mês de novembro (intensos desvios negativos de pluviosidade e positivos das temperaturas média compensada e máxima do ar).

Figura 81 - Espacialização da soma de meses no ano com (A) Deficiência Hídrico no Solo, (B) Excedente Hídrico no Solo e (C) Secos (Gaussen e Bagnouls) no entorno de Unaí-MG: 2004/2005.

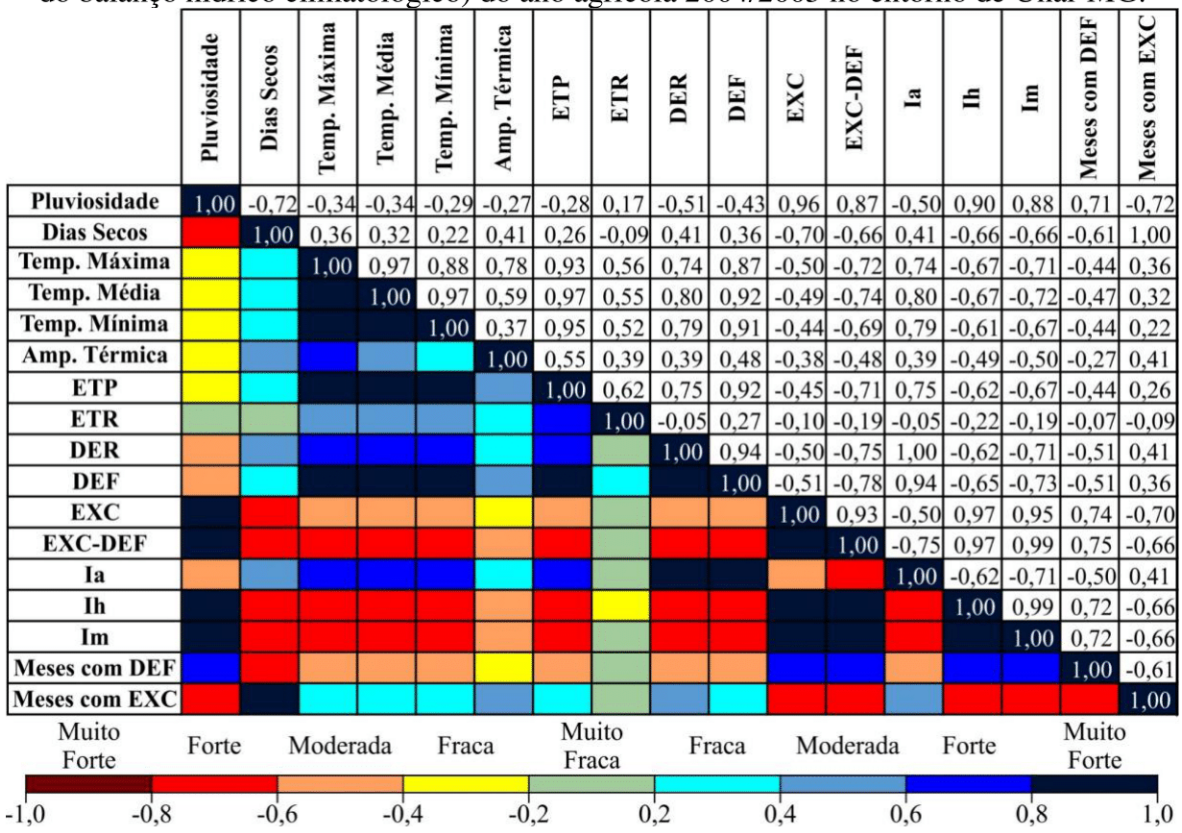


Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

5.4.1 Unidades climáticas do ano agrícola 2004/2005

Ao confrontar as matrizes de correlação de Pearson referentes aos dados climáticos do ano agrícola 2004/2005 (Figura 82) com os dados médios de 1995/1996 a 2014/2015 (Figura 48, p. 122) foi possível constatar as seguintes características dos valores obtidos:

Figura 82 - Matriz de correlação de Pearson dos dados climáticos (pluviotérmicos e índices do balanço hídrico climatológico) do ano agrícola 2004/2005 no entorno de Unaí-MG.



Fonte: elaborado pelo autor.

a) aumento dos negativos de Pluviosidade com Dias Secos (muito forte para forte), DER e Ia (forte para moderada) e redução dos positivos de ET_r (moderada para muito fraca);
b) redução dos positivos de Dias Secos com DER e Ia (forte para moderada), além de Temperatura Máxima e DEF (moderada para fraca). Houve também o aumento dos negativos de EXC (muito forte para forte) e ET_r (fraca para muito fraca);
c) a ET_r teve aumento positivo com ET_p (moderada para forte) e redução com EXC (fraca para muito fraca);
d) redução dos positivos de DER com as Temperaturas Mínima, Média, Máxima, ET_p (muito forte para forte) e Amplitude Térmica (moderada para fraca), e aumento dos negativos com EXC-DEF, Ih e Im (muito forte para forte) e EXC (muito forte para moderada);
e) a variável DEF teve redução dos negativos para EXC-DEF, Ih, Im (muito forte para forte) e EXC (forte para moderada);

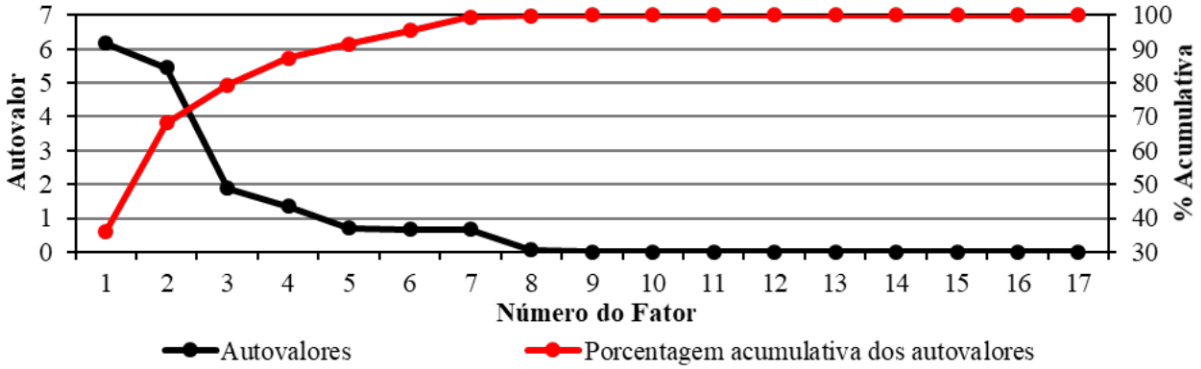
f) as alterações negativas de EXC corresponderam às reduções para Ia (muito forte para moderada) e Amplitude Térmica (moderada para fraca);

g) a variável Ia teve redução dos positivos de Temperaturas Mínima, Média, Máxima, ET_p, EXC-DEF (muito forte para forte) e Amplitude Térmica (moderada para fraca), além do aumento dos negativos para Ih e Im (muito forte para forte);

h) as correlações dos meses de DEF e EXC e as outras variáveis tiveram modificações em quase todas as intensidades, além de muitos casos de inversão da direção (positivo para negativo e vice versa). Todas as diferenças podem ser comparadas com as duas matrizes.

O uso da técnica de AF em CP's nos dados climáticos do ano agrícola 2004/2005 permitiu sintetizar as 17 variáveis em quatro fatores ao adotar critério de Kaiser (BEZERRA, 2007). A inércia explicada acumulada dos fatores (Figura 83) foi de 87,9%, com o 1º Fator correspondendo a 36,2%, 2º Fator com 32%, 3º Fator com 11,1% e o 4º Fator com 8%.

Figura 83 - Gráfico de *Scree Plot* dos autovalores após rotação (Varimax): ano 2004/2005.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 22 apresenta os valores das cargas fatoriais dos quatro fatores utilizados, além dos itens comuns de cada variável. Foi possível concluir que somente as variáveis de Dias Secos (0,75), Meses de DEF (0,70) e EXC (0,69) representaram totais explicados abaixo de 0,96.

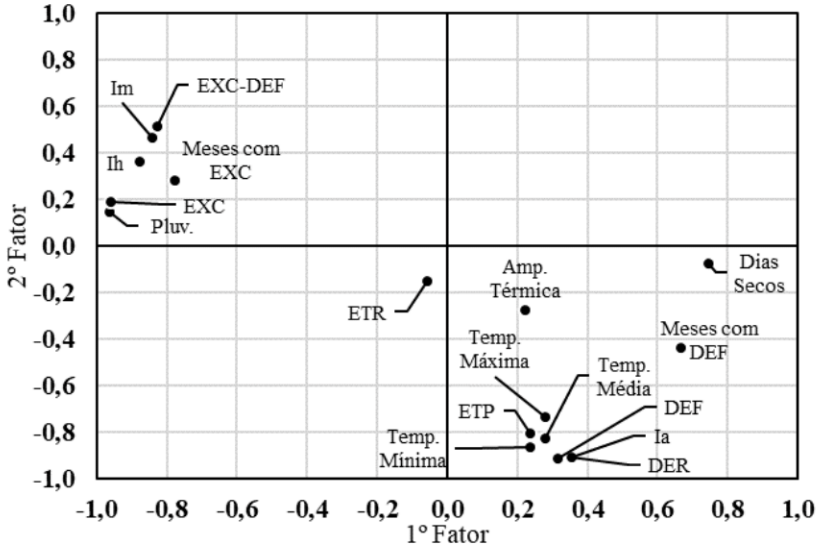
Tabela 22 - Cargas fatoriais rotacionadas (Varimax), itens comuns e características dos fatores das estações situadas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2004/2005.

Fator	Pluv.	Dias Secos	Temperatura				ET_p	ET_r	DER	DEF	EXC	EXC-DEF	Ia	Ih	Im	Meses com	
			Máx.	Méd.	Mín.	Amp.										DEF	EXC
1º	-0,96	0,75	0,28	0,28	0,24	0,22	0,24	-0,06	0,35	0,32	-0,96	-0,83	0,35	-0,9	-0,8	0,67	-0,78
2º	0,14	-0,08	-0,74	-0,83	-0,87	-0,28	-0,81	-0,15	-0,91	-0,92	0,19	0,51	-0,9	0,36	0,47	-0,44	0,28
3º	-0,13	0,17	-0,41	-0,42	-0,41	-0,25	-0,49	-0,96	0,18	-0,13	0,13	0,15	0,18	0,22	0,17	0,13	0,05
4º	-0,03	0,40	0,46	0,23	0,00	0,88	0,18	0,17	0,11	0,15	-0,08	-0,12	0,11	-0,1	-0,1	0,21	0,00
Comum	0,97	0,75	0,99	0,99	0,98	0,96	0,98	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,99	0,97	0,97	0,70	0,69
Atributos:	1º Fator (Hídrico):		+	-	2º Fator (Térmico):		-	3º Fator (Evapotransp. Real):					-	4º Fator (Amp. Tér.):		+	

Fonte: elaborado pelo autor.

A interpretação das cargas fatoriais, acima ou abaixo de ±0,6 (Tabela 22), em conjunto com análise da dispersão dos valores do 1º e 2º fatores (Figura 84) permitiu identificar as seguintes propriedades: o 1º fator diz respeito aos atributos hídricos, com os valores positivos para Total de Dias Secos e Meses com DEF que representam características inversamente relacionadas aos valores negativos de Pluviosidade, EXC, EXC-DEF, Ih, Im e Meses com EXC; o 2º fator está vinculado aos atributos térmicos, com os valores negativos para Temperaturas Máxima, Média Compensada e Mínima, ET_p, DER e Ia; o 3º fator está relacionado à Evapotranspiração Real; e o 4º fator sintetiza as condições da Amplitude Térmica.

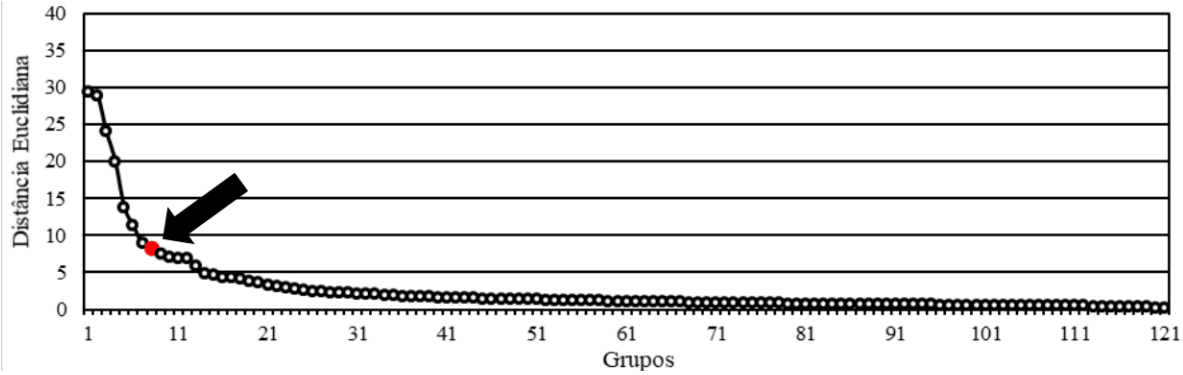
Figura 84 - Gráfico de dispersão das cargas fatoriais (1º e 2º fatores) rotacionadas (Varimax): ano agrícola 2004/2005.



Fonte: elaborado pelo autor.

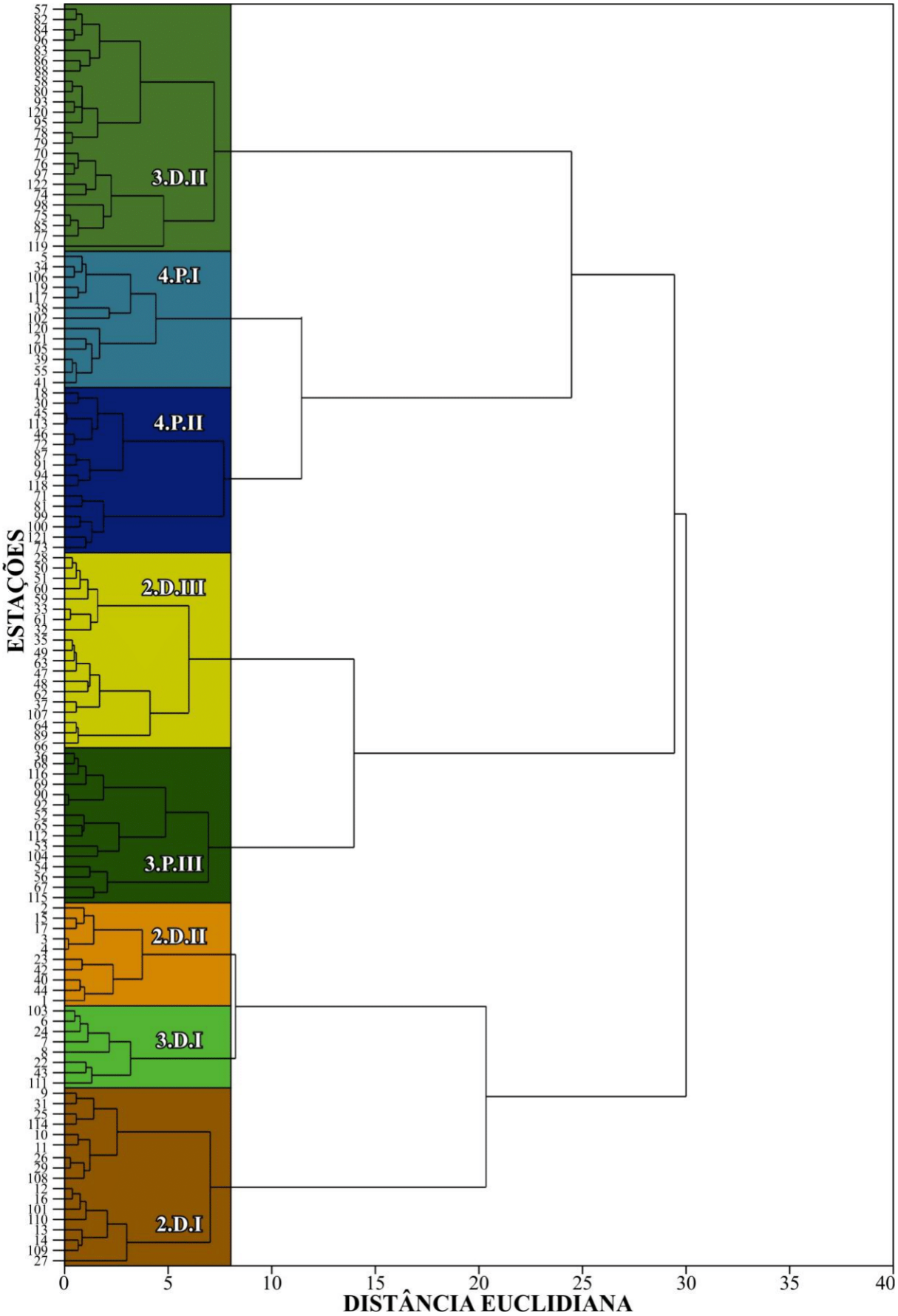
Os coeficientes de escores (Apêndice V, p. 302) e seus pesos (Apêndice W, p. 303) permitiram escolher a quantidade de unidades climáticas pela técnica de AA. Foram definidas oito classes após interpretação do gráfico de Curva de Inércia Intra-grupos (Figura 85), do Dendograma (Figura 86) e das classes das unidades climáticas médias (Figura 53, p. 127).

Figura 85 - Curva de Inércia Intra-grupos: total de unidades climáticas do ano 2004/2005.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 86 - Dendograma dos agrupamentos (unidades climáticas): ano agrícola 2004/2005.



Fonte: elaborado pelo autor.

A escolha de oito unidades climáticas para o ano 2004/2005 aponta diferenças qualiquantitativas em relação às nove unidades climáticas médias. Jardim (2007; 2010) discute sobre a diferenciação têmporo-espacial das unidades climáticas ao abordar a existência de "unidades efêmeras" na bacia hidrográfica do rio Aricanduva, na cidade de São Paulo. O autor aponta que a relação direta entre e espaço e tempo determina o vínculo indissociável entre as "unidades espaciais" e "unidades temporais" de clima, ou seja, uma mesma área pode apresentar unidades climáticas que variam em dimensão e ocorrência em função da variabilidade inerente às condições climáticas de um determinado período temporal. Nesse mesmo sentido Monteiro (2001) explica que o sistema climático é estruturado pela ação coordenada do espaço, que organiza os controles de superfície (latitude, continentalidade/maritimidade, altitude, topografia, etc), e pelos processos, que estão vinculados à variabilidade temporal dos elementos climáticos nas diferentes localidades.

Os argumentos expostos por Jardim (op. cit.) e Monteiro (op. cit.) auxiliaram no entendimento da quantidade de unidades climáticas e na proposição dos seus respectivos limites espaciais para o ano 2004/2005 (Figura 87), ao tentar representar as variações quantitativas e qualitativas das condições pluviotérmicas e do BHC nos diferentes espaços da área de estudo (Figuras 74 a 81) e sintetizadas nas características de cada unidade (Quadro 13).

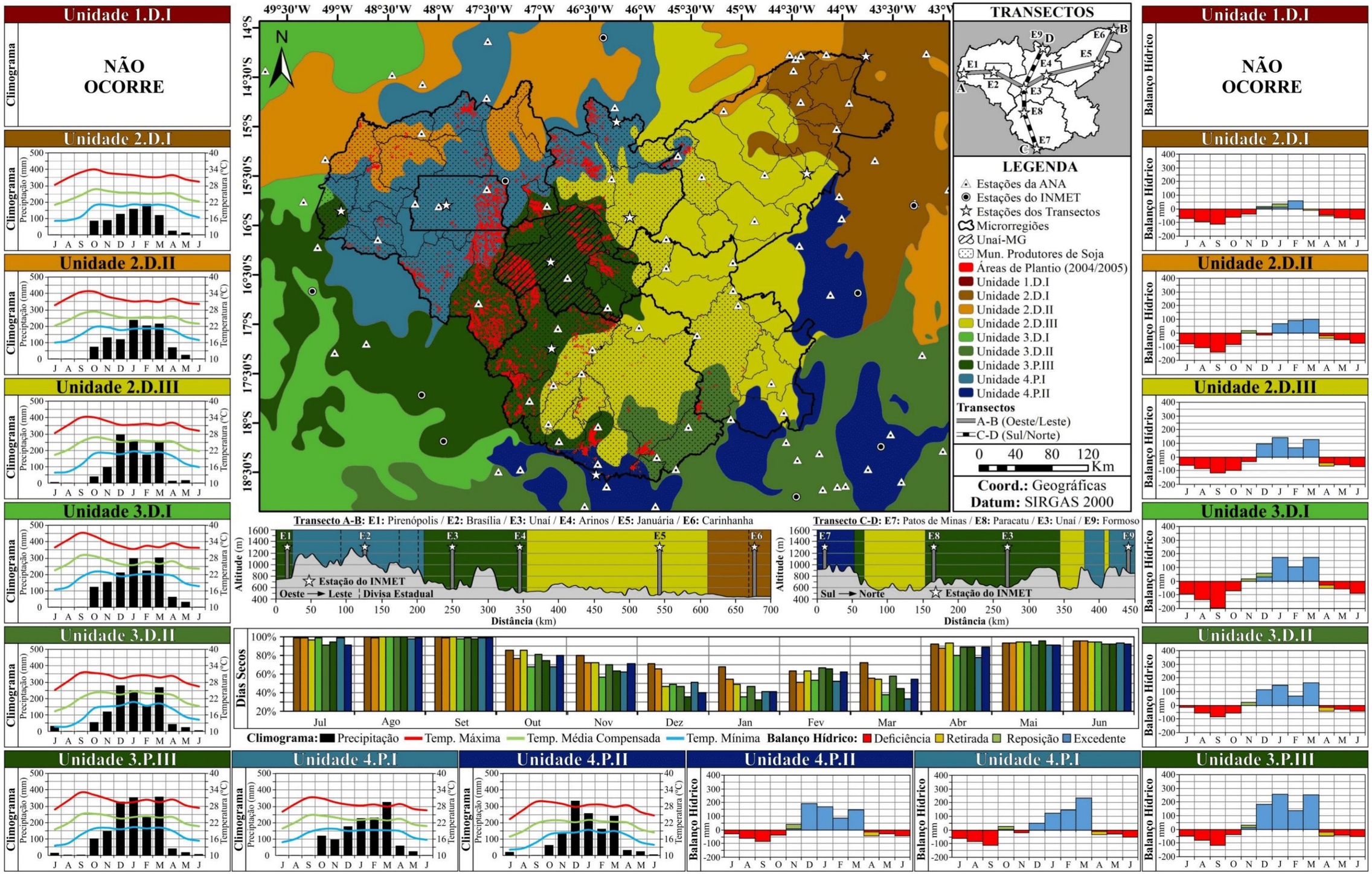
A extensão das unidades climáticas (Tabela 23) e suas respectivas alterações em comparação com às unidades médias (Tabela 24) apontam que as condições climáticas do ano agrícola 2004/2005 resultou na inexistência da unidade 1.D.I no extremo nordeste da microrregião de Januária, caracterizada pela prolongada estiagem, baixa pluviosidade, elevada temperatura e acentuada DEF. As condições pluviotérmicas e do BHC também propiciaram intensa retração das unidades 2.D.I (-18,8%) e 2.D.II (-90,8%) em Januária, 2.D.III em Brasília (-100%) e Unaí (-36,8%), 3.D.I (-91,7) em Brasília, 3.P.III (-87,5%) em Pirapora e 4.P.I no Entorno de Brasília (-23,2%), Unaí (-57,5%) e sua total ausência em Paracatu e Pirapora.

Tabela 23 - Área ocupada pelas unidades climáticas no ano agrícola 2004/2005 de acordo com as microrregiões do entorno de Unaí-MG.

Microrregiões		Área ocupada pelas unidades climáticas (%)									Área Total	
		1.D.I	2.D.I	2.D.II	2.D.III	3.D.I	3.D.II	3.P.III	4.P.I	4.P.II	%	Km²
Brasília		-	-	-	-	-	-	0,0	3,6	-	3,6	5.851
Entorno de Brasília		-	-	5,9	-	0,1	-	4,5	12,9	-	23,5	38.197
Januária		-	6,5	0,6	12,9	-	-	-	0,4	0,1	20,5	33.321
Paracatu		-	-	-	10,3	-	3,7	6,5	-	1,0	21,4	34.784
Pirapora		-	-	-	11,1	-	1,3	0,2	-	1,6	14,1	22.918
Unaí		-	-	0,0	4,8	-	-	8,3	3,7	-	16,9	27.469
Área Total	**%**	**-**	**6,5**	**6,5**	**39,1**	**0,1**	**5,0**	**19,5**	**20,6**	**2,7**	**100,0**	**-**
	Km²	**-**	**10.611**	**10.593**	**63.500**	**218**	**8.138**	**31.677**	**33.427**	**4.376**	**-**	**162.540**

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 87 - Mapeamento das unidades climáticas do ano agrícola 2004/2005 no entorno de Unaí-MG: suas características médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico) e a espacialização das áreas de cultivo de soja.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; 2019; INMET, 2018a; MAPBIOMAS, 2019; USGS, 2018. Elaborado pelo autor.

Quadro 13 - Aspectos estatísticos das unidades climáticas: 2004/2005.

Nº.	Estatística descritiva dos atributos do clima empregados na análise multivariada.		UNIDADES CLIMÁTICAS								
			1.D.I	2.D.I	2.D.II	2.D.III	3.D.I	3.D.II	3.P.III	4.P.I	4.P.II
1	Média Anual da Pluviosidade (mm)	Máximo	-	953,4	1380,6	1553,4	1659,5	1718,0	2083,3	1590,1	1553,7
		Média	-	818,6	1090,1	1157,6	1426,4	1247,0	1606,2	1277,5	1285,8
		Mínimo	-	602,2	900,2	895,9	1172,2	913,8	1224,5	1024,4	963,2
2	Média do Total de Dias no Ano com Precipitação Menor que 1mm (%)	Máximo	-	90,7	87,7	84,4	76,7	84,4	81,1	78,1	83,3
		Média	-	85,6	80,0	79,9	72,8	78,2	74,4	73,0	76,4
		Mínimo	-	81,4	71,8	74,8	69,6	73,2	68,2	67,4	71,2
3	Média Anual da Temperatura Máxima do Ar (ºC)	Máximo	-	32,5	33,0	32,3	34,7	31,1	31,8	30,4	29,7
		Média	-	31,4	31,9	31,6	33,3	29,4	29,8	28,6	27,6
		Mínimo	-	29,4	30,4	30,3	31,4	27,0	26,9	26,9	24,2
4	Média Anual da Temperatura Média Compensada do Ar (ºC)	Máximo	-	25,8	25,9	25,0	27,5	23,6	24,6	24,3	23,0
		Média	-	24,5	25,1	24,3	26,3	22,2	23,1	22,7	21,2
		Mínimo	-	22,9	23,9	23,2	24,7	20,6	21,2	21,3	18,7
5	Média Anual da Temperatura Mínima do Ar (ºC)	Máximo	-	19,8	20,2	19,8	21,4	17,9	18,8	20,2	17,8
		Média	-	18,9	19,6	18,6	20,4	16,9	18,0	18,1	16,5
		Mínimo	-	17,8	18,7	17,7	19,1	14,7	16,9	16,9	14,8
6	Média Anual da Amplitude Térmica (ºC)	Máximo	-	12,9	12,8	13,2	13,3	15,3	13,1	11,8	11,9
		Média	-	12,5	12,3	12,9	12,9	12,5	11,8	10,5	11,1
		Mínimo	-	11,6	11,6	12,3	12,2	11,0	10,0	9,4	9,4
7	Média Mensal Acumulada da Evapotranspiração Potencial no Ano (mm)	Máximo	-	1506,7	1536,6	1377,0	1895,6	1199,2	1326,4	1277,2	1129,2
		Média	-	1313,6	1396,8	1282,3	1622,9	1059,0	1151,9	1108,7	985,5
		Mínimo	-	1121,8	1225,1	1152,7	1334,1	931,5	972,5	986,3	828,8
8	Média Mensal Acumulada da Evapotranspiração Real no Ano (mm)	Máximo	-	814,5	867,9	878,2	1037,2	903,1	877,3	816,5	785,1
		Média	-	738,2	818,4	722,0	945,0	755,4	753,1	720,1	684,9
		Mínimo	-	606,1	725,0	649,5	865,7	698,1	604,2	658,1	645,1
9	Média Anual do Déficit de Evapotranspiração Relativa (%)	Máximo	-	51,5	46,0	50,0	47,6	36,9	41,4	45,3	40,3
		Média	-	43,5	41,3	43,6	41,2	28,5	34,5	34,8	29,8
		Mínimo	-	34,6	34,9	33,3	32,1	18,0	28,2	25,3	15,4
10	Média Mensal Acumulada de Deficiência Hídrica no Solo no Ano (mm)	Máximo	-	740,1	706,3	682,0	858,4	419,3	529,2	579,2	455,0
		Média	-	575,4	578,3	560,3	677,9	303,6	398,8	388,7	300,6
		Mínimo	-	387,9	463,8	437,6	455,2	173,6	311,7	268,3	142,8
11	Média Mensal Acumulada de Excedente Hídrico no Solo no Ano (mm)	Máximo	-	219,5	589,5	891,7	721,3	961,2	1332,3	845,1	901,9
		Média	-	83,9	271,7	438,1	481,4	492,4	853,1	557,5	602,9
		Mínimo	-	0,0	35,4	121,2	223,6	216,9	526,4	268,2	264,5
12	Diferença Entre as Médias Anuais de Excedente e Deficiência Hídrica (mm)	Máximo	-	-168,4	-6,1	400,7	253,0	750,9	1011,1	543,0	738,9
		Média	-	-491,5	-306,7	-122,2	-196,5	188,8	454,3	168,8	302,3
		Mínimo	-	-678,2	-565,9	-416,5	-576,3	-202,4	95,6	-252,8	-166,1
13	Balanço Hídrico: Índice de Aridez (Ia)	Máximo	-	51,5	46,0	50,0	47,6	36,9	41,4	45,3	40,3
		Média	-	43,5	41,3	43,6	41,2	28,5	34,5	34,8	29,8
		Mínimo	-	34,6	34,9	33,3	32,1	18,0	28,2	25,3	15,4
14	Balanço Hídrico: Índice Hídrico (Ih)	Máximo	-	19,6	42,5	77,4	54,1	99,4	124,2	80,7	108,8
		Média	-	6,5	19,6	34,5	30,8	47,2	75,3	51,4	63,1
		Mínimo	-	0,0	2,4	9,6	12,9	19,1	46,6	22,9	23,4
15	Balanço Hídrico: Índice de Umidade (Im)	Máximo	-	C1	C2	B2	B1	B4	B4	B3	B4
		Média	-	C1	C1	C2	C2	B1	B2	B1	B2
		Mínimo	-	C1	C1	C1	C1	C1	B1	C1	C2
16	Média do Total Anual de Meses com Déficit Hídrico no Solo	Máximo	-	11,0	9,0	9,0	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0
		Média	-	8,9	8,0	8,0	7,4	7,2	6,8	7,1	7,1
		Mínimo	-	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	5,0	6,0	5,0
17	Média do Total Anual de Meses com Excedente Hídrico no Solo	Máximo	-	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0	7,0	5,0	5,0
		Média	-	1,4	2,8	3,6	3,1	3,8	4,4	3,8	4,1
		Mínimo	-	0,0	2,0	2,0	2,0	3,0	4,0	3,0	3,0

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 24 - Desvio percentual da área ocupada pelas unidades climáticas no ano agrícola 2004/2005 em relação às unidades médias nas microrregiões do entorno de Unaí-MG.

Microrregiões		Diferença da área ocupada pelas unidades climáticas (%)								
		1.D.I	2.D.I	2.D.II	2.D.III	3.D.I	3.D.II	3.P.III	4.P.I	4.P.II
Brasília		-	-	-	-	-	-	-	0,0	-
Entorno de Brasília		-	-	100,0*	-100,0	-91,7	-	2.149,9	-23,2	-
Januária		-100,0	-18,8	-90,8	279,4	-	-	-	0,0	100,0*
Paracatu		-	-	-100,0	-1,0	-	164,3	-16,7	-100,0	400,0
Pirapora		-	-100,0	-100,0	270,0	-	100,0*	-87,5	-100,0	300,0
Unaí		-	-	-100,0	-36,8	-	-	100,0*	-57,5	-
Variação	**%**	**-100,0**	**-36,9**	**-53,6**	**31,6**	**-91,7**	**257,1**	**103,1**	**-33,5**	**350,0**
Total	**Km²**	**-3.576**	**-6.177**	**-12.190**	**15.279**	**-1.788**	**5.851**	**16.092**	**-16.904**	**3.413**

* Não ocorre no mapeado das unidades climáticas médias.

Fonte: elaborado pelo autor.

A comparação entre a distribuição espacial das unidades climáticas do ano 2004/2005 e suas respectivas configurações médias (Figura 53, p. 127) possibilitou identificar a forte ampliação das unidades: (a) 2.D.III (aumento de 15.279km²) rumo as menores altitudes do setor oriental (depressão da bacia do Rio São Francisco), especificamente nas microrregiões de Pirapora e Januária; (b) 3.P.III (incremento de 15.279km²) rumo ao norte, na porção meridional das microrregião do Entorno de Brasília e Unaí. Também devem ser destacadas as expansões das unidades 2.D.II no Entorno de Brasília, 3.D.II e 4.P.II em Paracatu e Pirapora.

As características pluviotérmicas e do BHC das unidades climáticas do ano em análise (Quadro 13) e os seus respectivos desvios em relação à média (1995/1996 a 2014/2015) permitem justificar a retração (2.D.I e 2.D.II) ou inexistência (1.D.I) de regiões mais secas nas áreas de menor altitude do quadrante centro-leste, fruto da expansão regional da unidade 2.D.III (31,6%) que sintetiza condições climáticas típicas de áreas de transição.

Na porção ocidental constatou-se que a ampliação areal da unidade 3.P.III (103,1%) ocorreu em substituição às unidades médias 2.D.III (menor altitude) e 4.P.I (maior altitude). A distribuição geográfica, os contrastes topográficos e as condições médias dos atributos climáticos (pluviais, térmicos e do BHC) permitiram qualificar a unidade 3.P.III como sendo uma região de transição climática entre as unidades climáticas 2.D.III (Depressão do Alto-Médio São Francisco) e 4.P.I (Planalto Central Brasileiro e Planalto do Distrito Federal).

Os gráficos de climograma e do BHC para cada unidade climática do ano 2004/2005 (Figura 87) demonstram que a distribuição temporal dos dados médios do clima possuiu condições muito parecidas aos resultados discutidos para as estações meteorológicas dos transectos A-B e C-D, porém com algumas particularidades, principalmente ligadas ao BHC: (a) a maioria das unidades possuiu quatro meses de EXC (dezembro a março), exceto três meses

em 2.D.I (dezembro a fevereiro) e 2.D.II (janeiro a março), e cinco meses em 3.P.III e 4.P.II (novembro a março); (b) os EXC só começaram a ocorrer em dezembro, com exceção de 2.D.I e 2.D.II em janeiro, além de 3.P.III e 4.P.II em novembro; (c) o total de meses com DEF variou entre oito (2.D.I a 2.D.III) e sete (3.D.I a 4.P.II).

O cruzamento entre os dados de localização das áreas de cultivo de soja da safra 2004/2005 com as respectivas unidades climáticas permitiu compreender as condições médias anuais dos atributos pluviotérmicos e do BHC com a concentração espacial das lavouras (Tabela 25).

Tabela 25 – Área total ocupada pelas lavouras de soja no ano agrícola 2004/2005 de acordo com as unidades climáticas localizadas nas microrregiões do entorno de Unaí-MG.

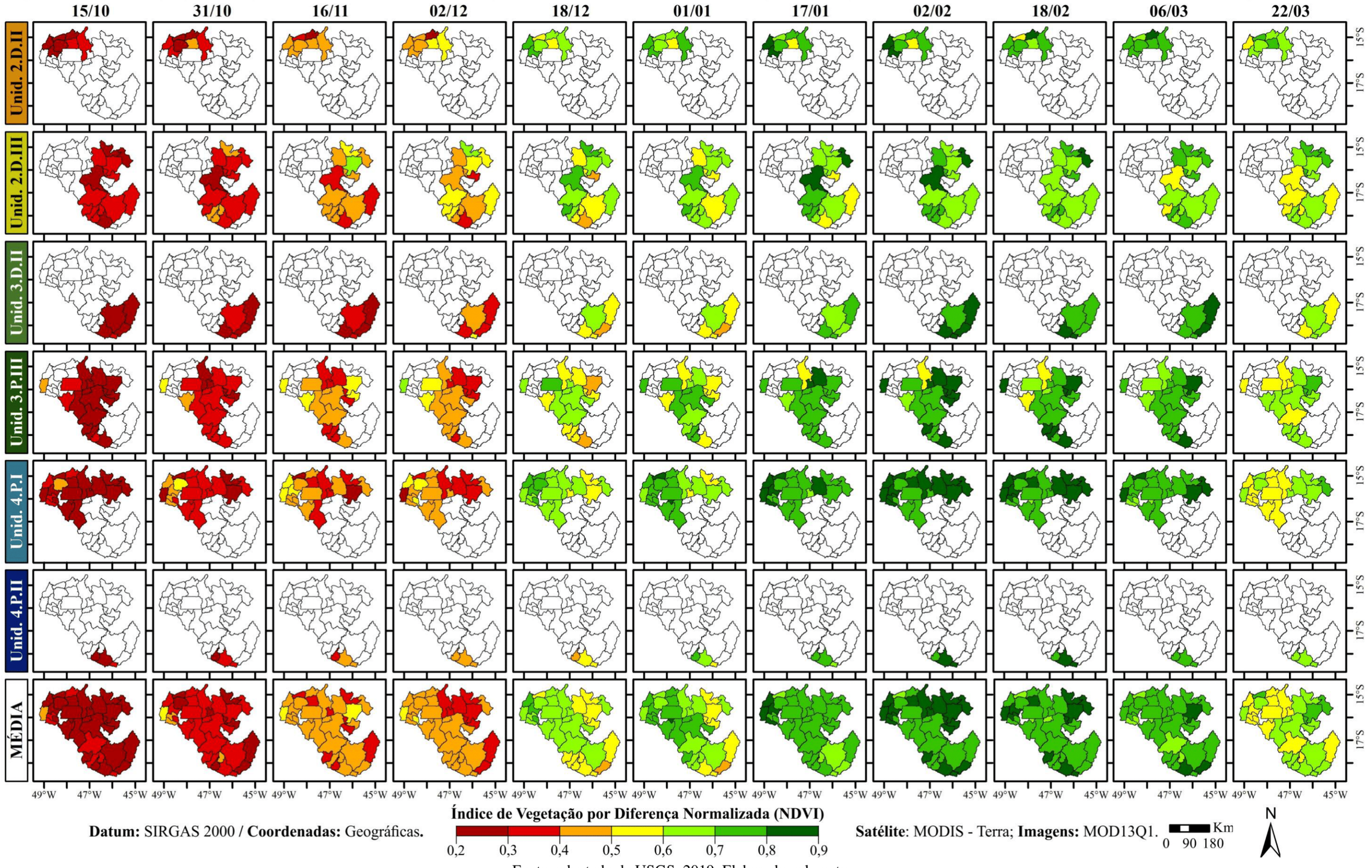
Microrregiões		Área ocupada pelas unidades climáticas (%)									Área Total	
		1.D.I	2.D.I	2.D.II	2.D.III	3.D.I	3.D.II	3.P.III	4.P.I	4.P.II	%	ha
Brasília		-	-	-	-	-	-	-	8,5	-	8,5	61.993
Entorno de Brasília		-	-	2,1	-	-	-	18,4	16,8	-	37,3	271.933
Januária		-	-	-	0,2	-	-	-	1,4	-	1,6	11.471
Paracatu		-	-	-	2,6	-	2,0	15,5	-	1,9	22,0	160.598
Pirapora		-	-	-	0,1	-	0,8	0,2	-	-	1,1	7.380
Unaí		-	-	-	0,3	-	-	20,5	8,7	-	29,5	214.594
Área	**%**	**-**	**-**	**2,1**	**3,2**	**-**	**2,8**	**54,6**	**35,4**	**1,9**	**100,0**	**-**
Total	**ha**	**-**	**-**	**15.002**	**23.404**	**-**	**19.860**	**398.946**	**256.995**	**13.762**	**-**	**727.969**

Fonte: elaborado pelo autor.

Dos 727.969ha destinados ao plantio da soja na área de estudo, 88,8% (647.125ha) estiveram distribuídos nas microrregiões do Entorno de Brasília (37,3% ou 271.933ha), de Unaí (29,5% ou 214.954ha) e Paracatu (22% ou 160.598ha), além de 90% de toda produção estar concentrada nas unidades climáticas 3.P.III (54,6% ou 398.946ha) e 4.P.I (35,4% ou 256.995ha). A intersecção espacial entre as áreas ocupadas pelas lavouras de soja e as unidades climáticas das três microrregiões com maior produção destaca a seguinte distribuição: Entorno de Brasília em 3.P.III (49,3%), 4.P.I (45%) e 2.D.II (5,6%); Unaí em 3.P.III (69,5%), 4.P.I (29,5%) e 2.D.III (1%); e Paracatu em 3.P.III (70,5%), 2.D.III (11,8%) e 3.D.II (9,1%).

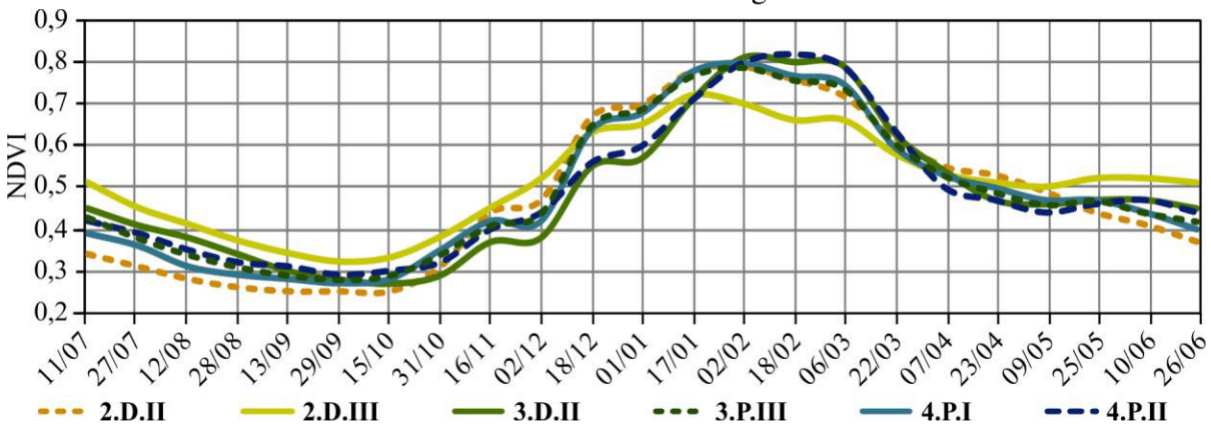
O ano agrícola 2004/2005 correspondeu a safra com maior produtividade média de soja nos 20 anos analisados para grande parte dos municípios produtores e, por esse motivo, foi realizada a discussão e detalhamento das condições climáticas regionais. Diante dessa constatação, torna-se crucial compreender como ocorreu a resposta espectral dos valores médios de NDVI das lavouras de soja por unidade climática e município (Figura 88), e da média para cada unidade climática (Figura 89), com o intuito de compreender quais locais foram mais ou menos favoráveis aos cultivos.

Figura 88 - Espacialização por município dos valores de NDVI das áreas de plantio durante o ciclo de crescimento da soja e suas relações com as unidades climáticas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2004/2005



Fonte: adaptado de USGS, 2019. Elaborado pelo autor.

Figura 89 - Valores médios de NDVI das áreas de plantio de soja de acordo com as unidades climáticas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2004/2005.



Fonte: adaptado de USGS, 2019. Elaborado pelo autor.

A interpretação dos perfis temporais de NDVI permitiu estimar que a data média do plantio teve início em meados do dia 15/10, devido aos valores médios apontarem que a fase de Estabelecimento possa ter ocorrido, aproximadamente, até 31/10 na maioria dos municípios (Figura 20, p. 58). Outro fato que corrobora esse indicativo é o aspecto climático, pois foi a partir da segunda quinzena de outubro que ocorreu o início das primeiras chuvas do ano agrícola em grande parte dos municípios produtores situados na porção centro-leste do entorno de Unaí.

Entre os dias 01/11 e 01/01 houve a ascensão acelerada das curvas de NDVI (Figura 89), principalmente para os municípios localizados na porção ocidental (unidades climáticas 3.P.III e 4.P.I) que obtiveram os maiores valores médios na última quinzena de dezembro, indicando que as os plantios já tinham passado por toda fase de Desenvolvimento Vegetativo e já teriam iniciado ou estavam no meio do período de Floração (Figura 88). As variadas respostas captadas nesse período para os diversos municípios situados nas diferentes unidades climáticas mostram distintos estágios de crescimentos das plantas, os quais podem estar associados tanto às características climáticas mais ou menos favoráveis que impactaram negativamente as plantas como também diferentes datas de início de plantio e tipos de sementes. Essa suposição foi embasada pelos valores médios mais baixos das lavouras localizadas, principalmente, em alguns municípios das unidades climáticas 2.D.II, 2.D.III, 3.D.II e 4.P.II (Figura 88).

De 02/01 a 02/02 foi possível identificar o avanço expressivo das médias de NDVI nos municípios analisados, inclusive com a presença dos maiores valores (picos) de toda safra no dia 02/02, porém com algumas diferenças entre as unidades climáticas: (a) todos os municípios ficaram com médias acima de 0,7 em 02/02, sendo que 17 deles (48,6%), localizados, principalmente, nas porções centro-norte (unidade 3.P.III e 4.P.I) e extremo sul (unidades 3.D.II e 4.P.II), possuíram valores médios superiores a 0,8; (b) a redução média em 2.D.III (Figura 89) exibe condições muito discrepantes em relação às demais unidades, principalmente nos dias 17/01 e 02/02, sendo melhor explicitadas na escala municipal, quando 40% das localidades

tiveram valores entre 0,6 e 0,7, 46,6% com valores entre 0,7 e 0,8 e somente os municípios de Unaí e Chapada Gaúcha com valores máximos acima de 0,8 em 17/01 e 02/02 (provavelmente relacionados ao maior incremento de técnicas de irrigação por pivô).

A comparação entre o contexto regional dos valores de NDVI em relação às unidades climáticas denota que as características da unidade 2.D.III foram descompassadas, sobretudo, pelos valores decrescentes mais acentuados após o dia 02/02 (Figura 89). Esse fato pode ser explicado pelas condições climáticas adversas que acometeram a porção central da unidade 2.D.III no mês de fevereiro e identificado pelos baixos quantitativos pluviais e, consequente, pelos volumes quase nulos de EXC em E4-Arinos (Figura 79, p. 168). Essa situação indica o comprometimento do desenvolvimento das plantas de soja na unidade 2.D.III, porém, os valores médios de NDVI desses municípios (acima de 0,7 ou 0,8 no pico do dia 02/02) indicam que não houve impacto tão negativo na produção final, corroborado, principalmente, pela alta produtividade presente na safra 2004/2005. Entretanto, pode-se conjecturar que caso as condições climáticas verificadas em fevereiro na unidade 2.D.III não tivessem influenciado negativamente a produção (constatado pelos valores de NDVI), a produtividade média poderia ter sido ainda maior nos municípios pertencentes a essa unidade climática (Figura 71, p. 155).

Nas demais unidades climáticas percebe-se que a partir do mês de fevereiro houve diminuição gradual dos valores médios de NDVI em quase todos os municípios, apontando o período de início dos processos de perda de área foliar, diminuição da necessidade de fotossíntese e a redução do peso e da umidade do grão. O conjunto desses aspectos marca a conclusão das etapas de desenvolvimento fenológico da soja e indica a possibilidade do começo dos procedimentos de colheita.

Finaliza-se esse capítulo com a constatação de que as características anuais dos atributos térmicos, pluviais e do BHC do ano agrícola 2004/2005 estiveram muito próximas às encontradas nos valores médios, com exceção da porção centro-leste, mais especificamente na depressão da bacia do Rio São Francisco, que apresentou maiores acumulados pluviométricos e de excedente hídrico no solo. Essas condições na porção centro-leste favoreceram a expansão oriental da unidade climática de transição 2.D.III, a redução zonal da unidade 2.D.II e a inexistência das unidades 1.D.I e 2.D.I no extremo nordeste da microrregião de Januária.

A regularidade temporal de distribuição dos quantitativos pluviais possibilitaram a oferta hídrica necessária para as plantas de soja não incorrerem em *stress* hídrico em quase todos os municípios e unidades climáticas, exceto pelos totais obtidos em fevereiro para a unidade 2.D.III e identificados pelos valores de NDVI, que apontam possível redução das médias de produtividade nos municípios produtores situados nessa região climática.

De forma geral, as condições climáticas favoreceram os resultados obtidos de alta produtividade de soja da safra 2004/2005, sendo necessário aprofundar o conhecimento

relacionado a configuração sinótica que propiciou os ritmos de sucessão dos sistemas atmosféricos e das gêneses pluviais em todas as áreas produtoras de soja (Capítulo 5.6, p. 209).

O próximo capítulo abordará as características climáticas do ano agrícola 2014/2015, caracterizado por ser um ano seco/muito seco e de baixa produtividade anual das safras de soja.

5.5 ANO AGRÍCOLA 2014/2015

O ano agrícola 2014/2015 foi marcado pela baixa produtividade de soja em grande parte dos municípios produtores do entorno de Unaí. Esse fato foi amplamente discutido pela imprensa especializada ao abordarem os impactos negativos da falta de chuvas no começo do ano de 2015 e suas repercussões econômicas na escala regional e nacional em razão da diminuição da oferta e o seu consequente aumento de preço no mercado internacional. A Figura 90 apresenta as manchetes de algumas reportagens que trataram desse assunto.

Figura 90 - Manchetes jornalísticas sobre os resultados agrícolas da soja da safra 2014/2015.

Fonte: AGÊNCIA BRASIL, 2020; JORNAL OPÇÃO, 2020; NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, 2020

A redução de parte da produção agrícola no ano 2014/2015 esteve relacionada a desvios negativos dos totais pluviométricos precipitados, ocasionado pela atuação anômala do ASAS (alta pressão atmosférica) no interior do continente da América do Sul durante o período chuvoso. A intensa e persistente presença desse fenômeno nos níveis médios e baixos da atmosfera promoveu o desenvolvimento de um bloqueio atmosférico na Região Sudeste do país que resultou em condições recorrentes de estabilidade atmosférica (movimento dinâmico descendente do ar seguido de aquecimento adiabático), além de desviar o deslocamento das frentes frias para o oceano, impossibilitando, desse modo, a formação de episódios ZCOU e

ZCAS e, consequentemente, suas contribuições para gênese pluvial regional (MARENGO et al.,2015). Um possível reforço desse fenômeno foi a influência do episódio de El Niño de fraca intensidade no Oceano Pacífico (NOAA, 2018).

O ponto de partida para compreensão das características climáticas do ano agrícola 2014/2015 e as suas influências na baixa produtividade dos municípios produtores perpassou pelo entendimento da manifestação da temperatura do ar na área de estudo (Figura 91).

Nesse ano agrícola houve desvios positivos em todas as médias anuais em comparação com a média histórica de 1995/1996 a 2014/2015 (0,4ºC para mínima, 0,4ºC para média compensada e 0,3ºC para máxima), mas com diferenças entre as microrregiões (Tabela 26).

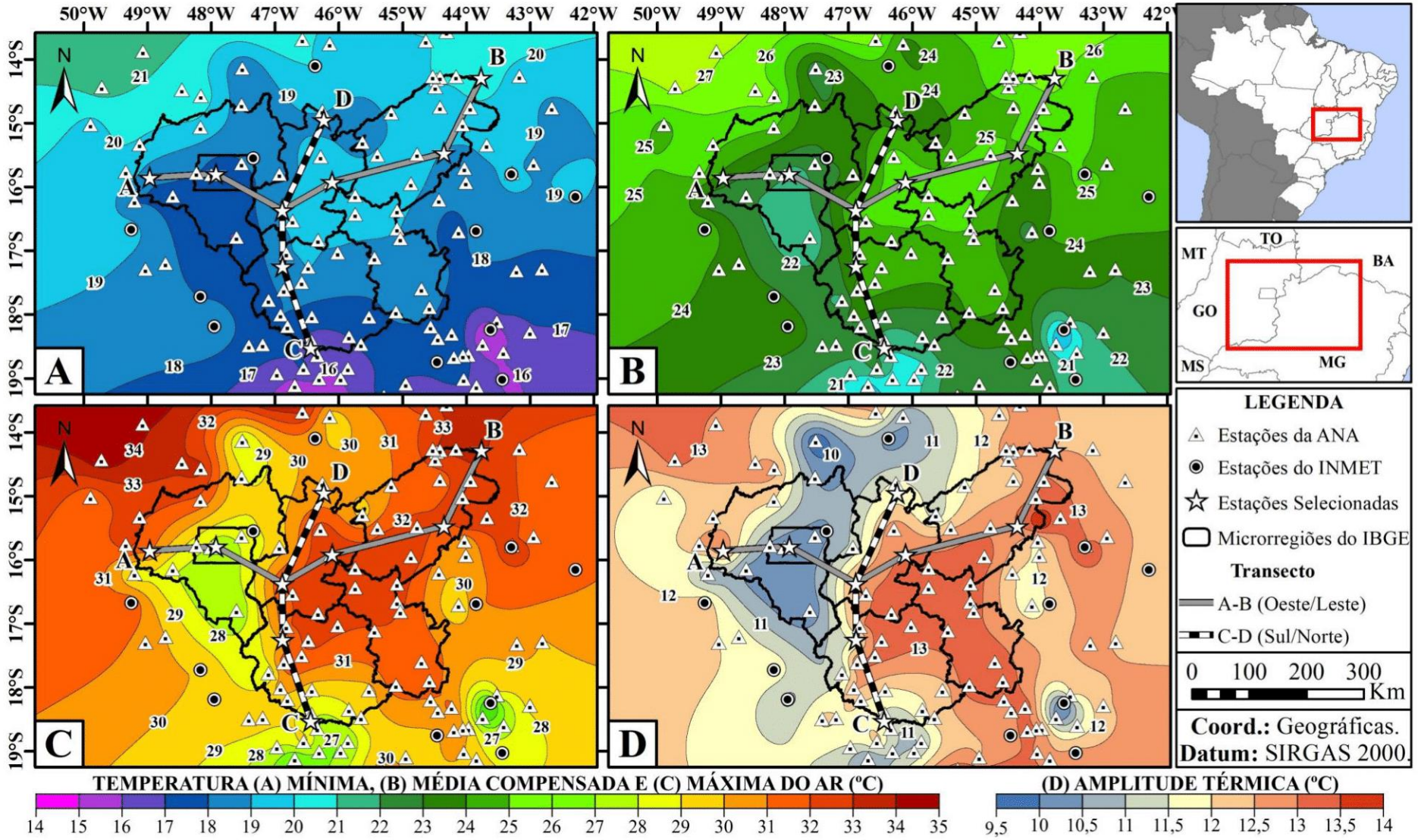
Tabela 26 - Desvio absoluto (ºC) da média da temperatura do ar nas microrregiões do entorno de Unaí-MG no ano agrícola 2014/2015 em relação à média entre 1995/1996 e 2014/2015.

Temperatura			Microrregiões						Síntese Regional
			Brasília	Ent. de Brasília	Januária	Paracatu	Pirapora	Unaí	
Desvio absoluto (ºC)	Máxima	Máxima	0,4	0,4	0,8	0,4	0,5	0,5	0,8
		Média	0,2	0,2	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3
		Mínima	0,1	0,0	0,2	0,0	0,3	-0,2	0,0
	Média Comp.	Máxima	0,3	0,4	0,7	0,5	0,5	0,6	0,7
		Média	0,2	0,2	0,5	0,3	0,5	0,4	0,4
		Mínima	0,1	0,1	0,3	0,1	0,4	0,2	0,1
	Mínima	Máxima	0,6	0,7	0,8	0,5	0,5	0,7	0,8
		Média	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
		Mínima	0,1	0,1	0,3	0,0	0,4	0,2	0,0
	Amplitude	Máxima	0,1	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6
		Média	0,0	-0,1	0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1
		Mínima	-0,2	-0,3	-0,1	-0,2	-0,1	-0,4	-0,4

Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

As microrregiões de maior altitude (Brasília e Entorno de Brasília) apresentaram os menores desvios nas variáveis térmicas (0,2ºC), os quais aumentaram gradativamente ao reduzir a altitude média de cada microrregião e demonstrado pelos valores médios obtidos, respectivamente, pelas temperaturas mínima, média compensada e máxima em Paracatu (0,4ºC, 0,3ºC e 0,3ºC), Unaí (0,4ºC, 0,4ºC e 0,3ºC), Pirapora (0,5ºC, 0,5ºC e 0,4ºC) e Januária (0,4ºC, 0,5ºC e 0,5ºC). Os aquecimentos acima das médias históricas podem ser espacialmente exemplificados na Figura 91, principalmente na depressão da bacia do Rio São Francisco, que apresentaram expansão das isotermas de 19ºC (mínima), 25ºC (média compensada) e 32ºC (máxima) para porção ocidental, próximo à Unaí. As poucas alterações nas médias anuais de amplitude térmica nas microrregiões (variações entre -0,1ºC e 0,1ºC) estiveram vinculadas ao aumento quase proporcional entre as temperaturas mínima e máxima, as quais propiciaram que padrão espacial presente nesse ano fosse muito semelhante às médias (Figura 36, p. 102).

Figura 91 - Médias anuais das Temperaturas do ar (A) Mínima, (B) Média Compensada, (C) Máxima e (D) Amplitude: 2014/2015.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

A comparação entre a pluviosidade e o total de dias secos no ano, tanto em sua distribuição espacial e os seus respectivos desvios em relação à média histórica (1995/1996 a 2014/2015), apontaram disparidades entre as microrregiões (Figura 92 e Tabela 27).

Tabela 27 - Desvio relativo (%) da precipitação e do total de dias secos nas microrregiões do entorno de Unaí no ano agrícola 2014/2015 em relação à média entre 1995/1996 e 2014/2015.

	Variável Climática		Microrregiões						Síntese Regional
			Brasília	Ent. de Brasília	Januária	Paracatu	Pirapora	Unaí	
Desvio relativo (%)	Precipitação Acumulada	Máxima	18,3	11,7	-2,3	11,7	-4,2	3,4	18,3
		Média	7,0	-1,5	-26,7	-9,4	-25,1	-15,1	-13,7
		Mínima	-11,5	-16,6	-41,9	-26,4	-41,7	-30,6	-41,9
	Total de Dias Secos (P<1mm)	Máxima	7,4	10,5	9,3	4,7	9,2	5,1	10,5
		Média	-4,9	-4,2	2,8	-1,8	4,8	-4,9	-1,1
		Mínima	-19,0	-21,4	-12,6	-16,1	-2,5	-20,7	-21,4

Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

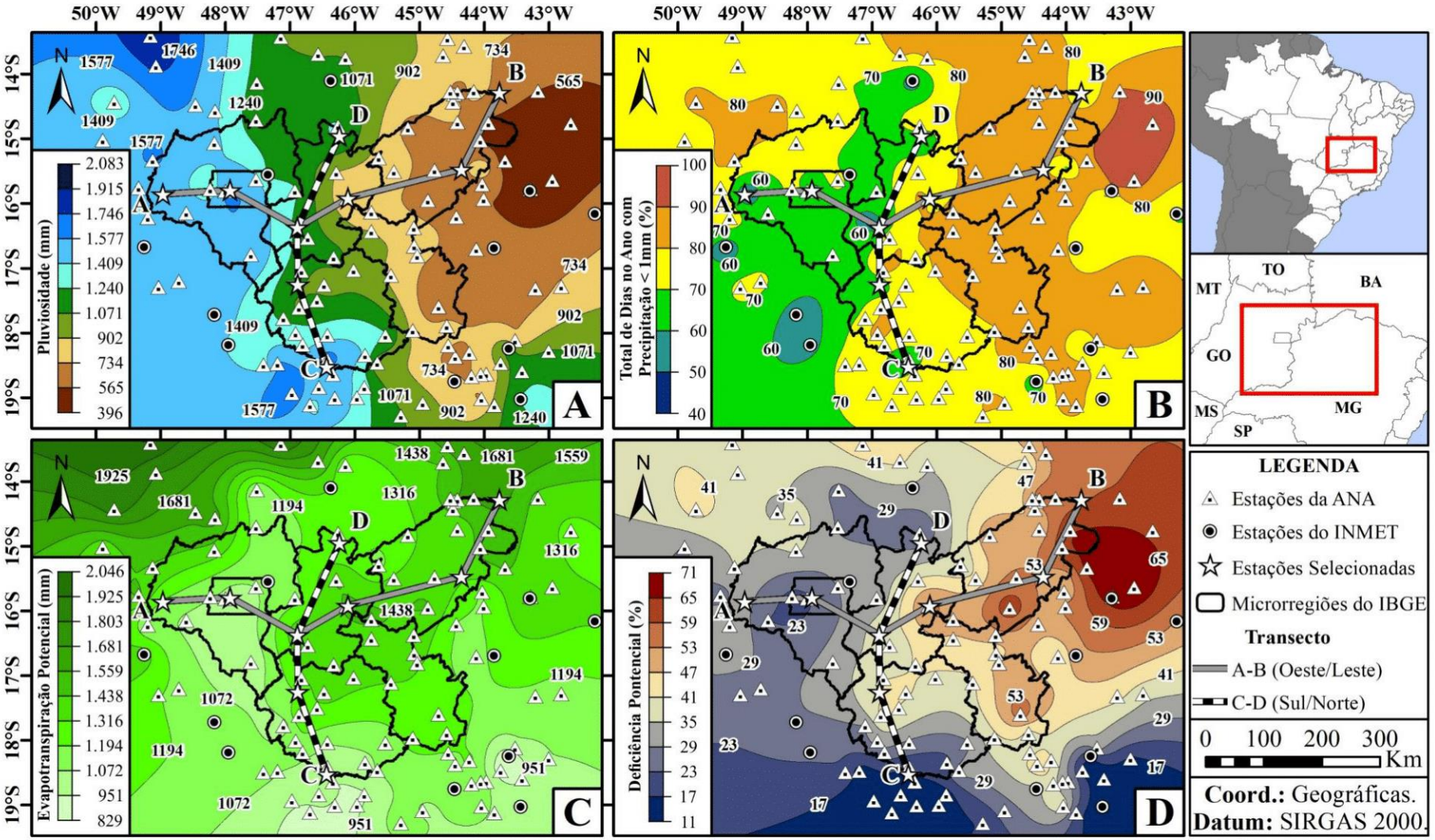
Uma das razões da escolha do ano agrícola 2014/2015 para detalhamento do quadro climático regional relacionou-se ao baixo acumulado pluviométrico em grande parte das estações meteorológicas e pluviométricas analisadas, comprovado pelo desvio médio da precipitação ser -13,7% em relação à média histórica. Somente a microrregião de Brasília teve desvio médio positivo da pluviosidade (7,0%), enquanto que o Entorno de Brasília (-1,5%), Paracatu (-9,4%), Unaí (-15,1%), Pirapora (-25,1%) e Januária (-26,7%) apresentaram desvios negativos que foram espacialmente intensificados de oeste para leste (Tabela 27).

Ao conferir os diferentes desvios mínimos encontrados nas microrregiões verificou-se que determinadas localidades Unaí, Pirapora e Januária acumularam totais inferiores a 70% da precipitação média anual entre 1995/1996 e 2014/2015 (Tabela 27).

Pela Figura 92A foi possível constatar que a diminuição dos totais pluviais ocorreu de modo heterogêneo no espaço, exemplificado pelo intenso recuo rumo à oeste das isoietas de 1.240mm e 1.071mm, longitudinalmente próximas ao município de Unaí (E3), que proporcionaram o vigoroso avanço das isoietas de 902mm e 734mm nas microrregiões de Unaí e Pirapora. Além disso, houve a presença da classe de 565mm no extremo nordeste de Januária, a qual não ocorre na média histórica dos 20 anos analisados (Figura 37A, p. 104).

As diferenças médias nos totais de dias secos no ano (Figura 92B e Tabela 27) em relação à média histórica nas microrregiões apontam pouca variação quantitativa e espacial dessa variável (Figura 37B, p. 104). O destaque fica por conta das médias dos desvios relativos, sobretudo pela diminuição do total de dias secos (<70%) em grande parte das microrregiões de Brasília (-4,9%), Unaí (-4,9%) e Entorno de Brasília (-4,2%) que contrastaram com o aumento de dias secos (>80%) em Pirapora (4,8%).

Figura 92 - (A) Espacialização da pluviosidade, (B) Total de dias com precipitação menor que 1mm, (C) Evapotranspiração Potencial, (D) Déficit de Evapotranspiração Relativa no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2014/2015.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

O aumento da temperatura média compensada em 2014/2015 em relação à média histórica influenciou diretamente na dinâmica do BHC regional, ao proporcionar maior ET_p nas áreas de menor altitude da depressão da bacia do Rio São Francisco (Figura 92C) e no aumento da intensidade da DER em praticamente todas as microrregiões (Figura 92D), com exceção de Brasília que apresentou condições muito similares à média histórica (Figuras 37C e 37D, p. 104).

A intensificação da ET_p e os menores totais pluviométricos na porção centro-leste resultaram no aumento da DEF (até 58,4% em Unaí, 93,1 em Pirapora e 42,1% no extremo nordeste de Januária e) e, consequentemente, na redução do EXC (forte deslocamento longitudinal das isolinhas de 133mm, 267mm e 400mm à oeste) em relação à média histórica (Figuras 38A e 38B, p. 107), conforme pode ser observado nas Figuras 93A e 93B. As microrregiões de Brasília e Entorno de Brasília mantiveram suas características de DEF muito próximas à média histórica, porém com a presença da isolinha de 799mm de EXC nas microrregiões como principal diferença nesse ano agrícola em relação à média.

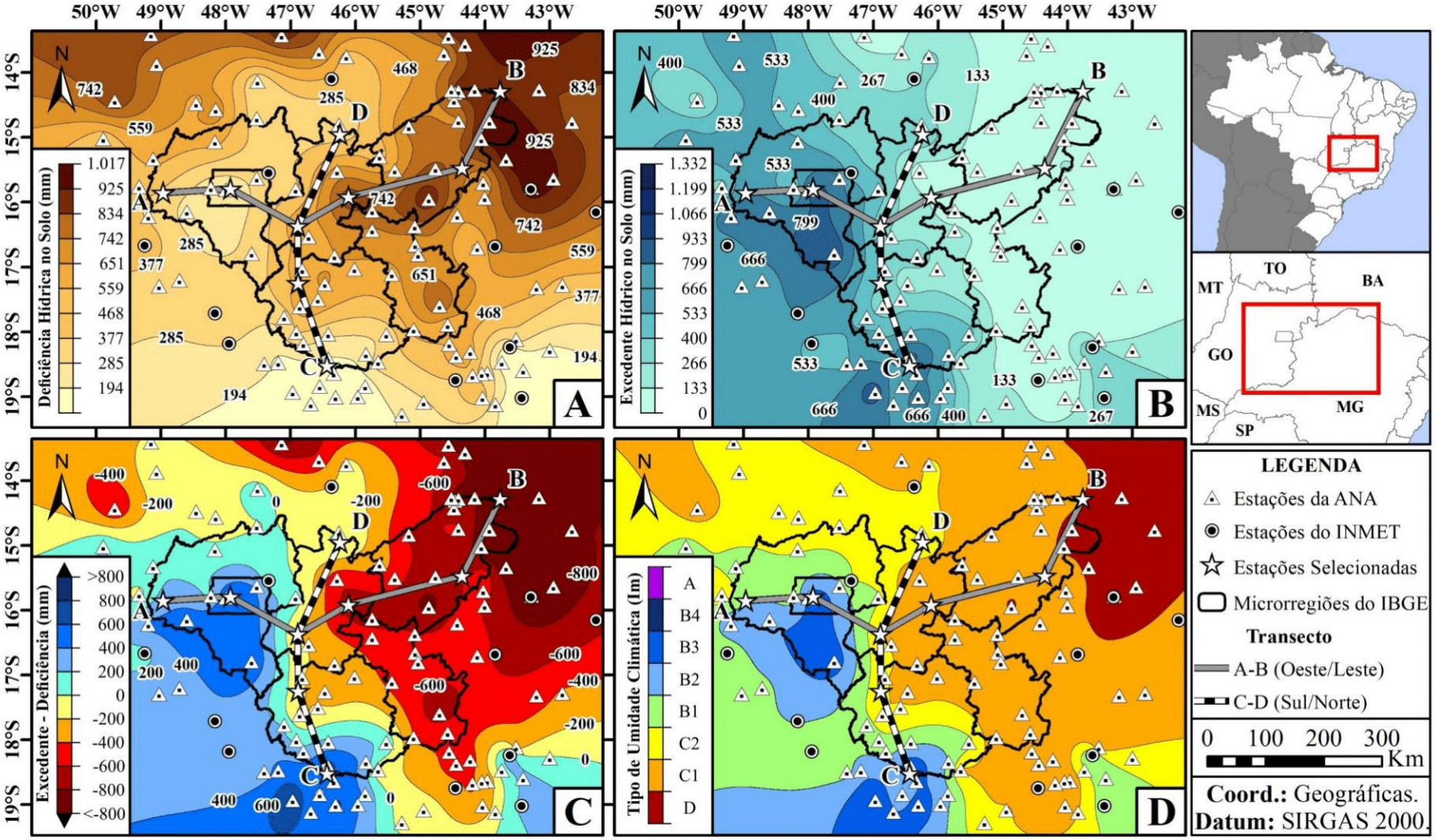
Os fortes contrastes das variáveis do BHC propiciaram que na variável EXC-DEF predominasse a DEF em praticamente toda área das microrregiões de Unaí, Pirapora, Januária e, com menor dimensão, Paracatu (Figura 93C). Esse fato foi comprovado ao analisar a expansão das isolinhas de -800mm (inexistente na média histórica) a -200mm acumulados de água no solo rumo à porção ocidental, situadas, principalmente, nas áreas de menor altitude da depressão da bacia do Rio São Francisco.

Assim como foi verificado nas variáveis de DEF e EXC das microrregiões de Brasília e Entorno de Brasília, as características do BHC apontam que o predomínio de EXC nessas localidades ficou espacialmente e quantitativamente muito próximos às condições encontradas nas médias históricas (Figura 38C, p. 107).

Ao analisar a configuração espacial do Índice de Umidade (Figura 93D e Tabela 28) constatou-se que no extremo nordeste de Januária as condições climáticas propiciaram a presença do tipo Semiárido (D), fato que não ocorre na média histórica em nenhuma microrregião (Figura 38D, p. 107), ao passo que a classe Subúmido Seco (C1) ampliou sua abrangência em 62% em relação à média anual do período e ocupou quase metade de toda área de estudo (48,1%), com maior expansão nas microrregiões de Pirapora (45,8%) e Unaí (436,8%).

O avanço dos tipos de umidade D e C1 proporcionaram que os tipos Subúmido Chuvoso (C2) e Úmido (B1 a B3) tivessem retração de 36,2% de sua área em relação às suas configurações espaciais médias. A única classe "Úmida" que expandiu sua presença no ano agrícola 2014/2015 em relação às características médias entre 1995/1996 e 2014/2015 foi o tipo B3 (crescimento de 247%) nas microrregiões de Brasília e Entorno de Brasília.

Figura 93 - Espacialização da (A) Deficiência e do (B) Excedente Hídrico no solo, (C) Diferença entre Excedente e Deficiência Hídrica no Solo e (D) Tipo de Umidade Climática (Im) no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2014/2015.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

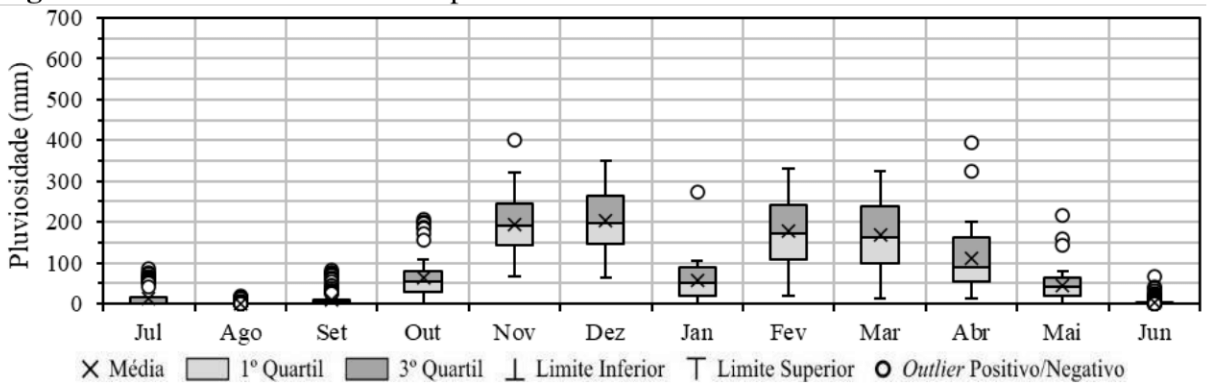
Tabela 28 - Área ocupada (%) pelas classes do Índice de Umidade (Im) do Balanço Hídrico nas microrregiões do entorno de Unaí-MG no ano agrícola 2014/2015.

Tipo de Umidade Climática	Microrregiões						Total
	Brasília	Ent. de Brasília	Januária	Paracatu	Pirapora	Unaí	
A - Superúmido	-	-	-	-	-	-	-
B4 - Úmido	-	-	-	-	-	-	-
B3 - Úmido	0,9	4,4	-	0,6	-	-	5,9
B2 - Úmido	2,0	4,7	-	1,9	-	0,3	9,0
B1 - Úmido	0,6	8,7	-	6,5	-	1,2	17,0
C2 - Subúmido chuvoso	-	5,7	-	6,8	0,1	5,1	17,8
C1 - Subúmido seco	-	-	18,2	5,7	14,0	10,2	48,1
D - Semiárido	-	-	2,2	-	-	-	2,2
Total	**3,6**	**23,5**	**20,4**	**21,5**	**14,2**	**16,9**	**100,0**

Fonte: elaborado pelo autor.

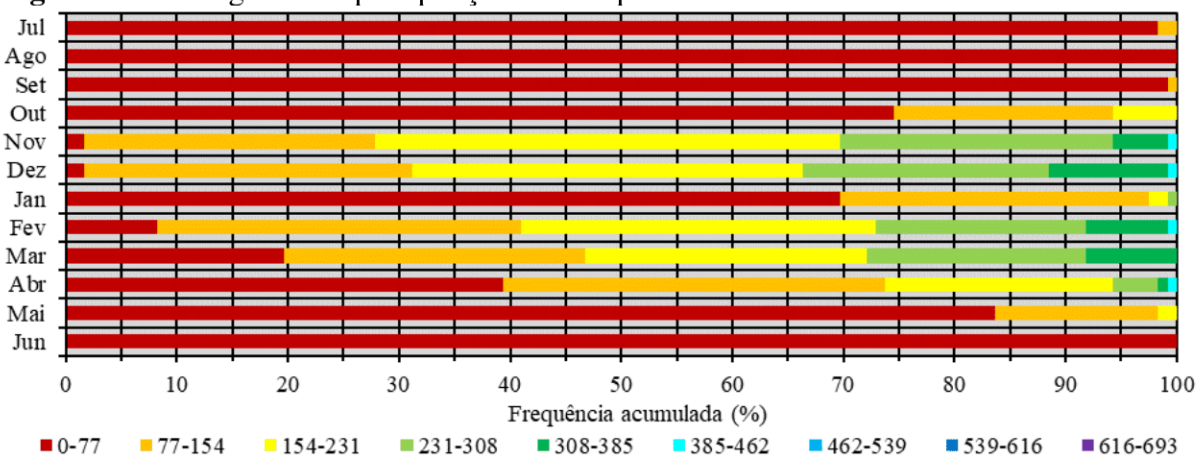
A decomposição temporal dos dados climáticos na escala mensal para as 122 estações amplia o entendimento das características do regime climático do ano agrícola 2014/2015. A partir dessa concepção, foram construídos gráficos mensais de *Box-Plot* (Figura 94) e histograma (Figura 95) da pluviosidade com o intuito de identificar os períodos de concentração e analisar temporalmente a distribuição quantitativa da pluviosidade regional.

Figura 94 - Gráfico de *BoxPlot* da pluviosidade mensal do ano 2014/2015 no entorno de Unaí



Fonte: ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 95 - Histograma da precipitação mensal para o ano 2014/2015 no entorno de Unaí-MG



Fonte: ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

As menores médias mensais de pluviosidade das 122 estações ocorreram nos meses de julho (12,9mm), agosto (0,9mm), setembro (10mm) e junho (3mm), sendo que nesses meses houve o predomínio da frequência de precipitação de 0mm à 77mm (98,4% a 100%).

A transição entre o início e término do período mais chuvoso ocorreu nos meses de outubro e abril/maio, ao apresentarem, respectivamente, às médias de 63,5mm, 112,1mm e 45,7mm. As frequências relativas da pluviosidade nesses meses estiveram majoritariamente concentradas (100% e 94,3% e 100%) nas classes de 0mm-77mm (74,6%, 39,3% e 83,6%), 77mm-154mm (19,7%, 34,4% e 14,8%) e 154mm-231mm (5,7%, 20,5% e 1,6%).

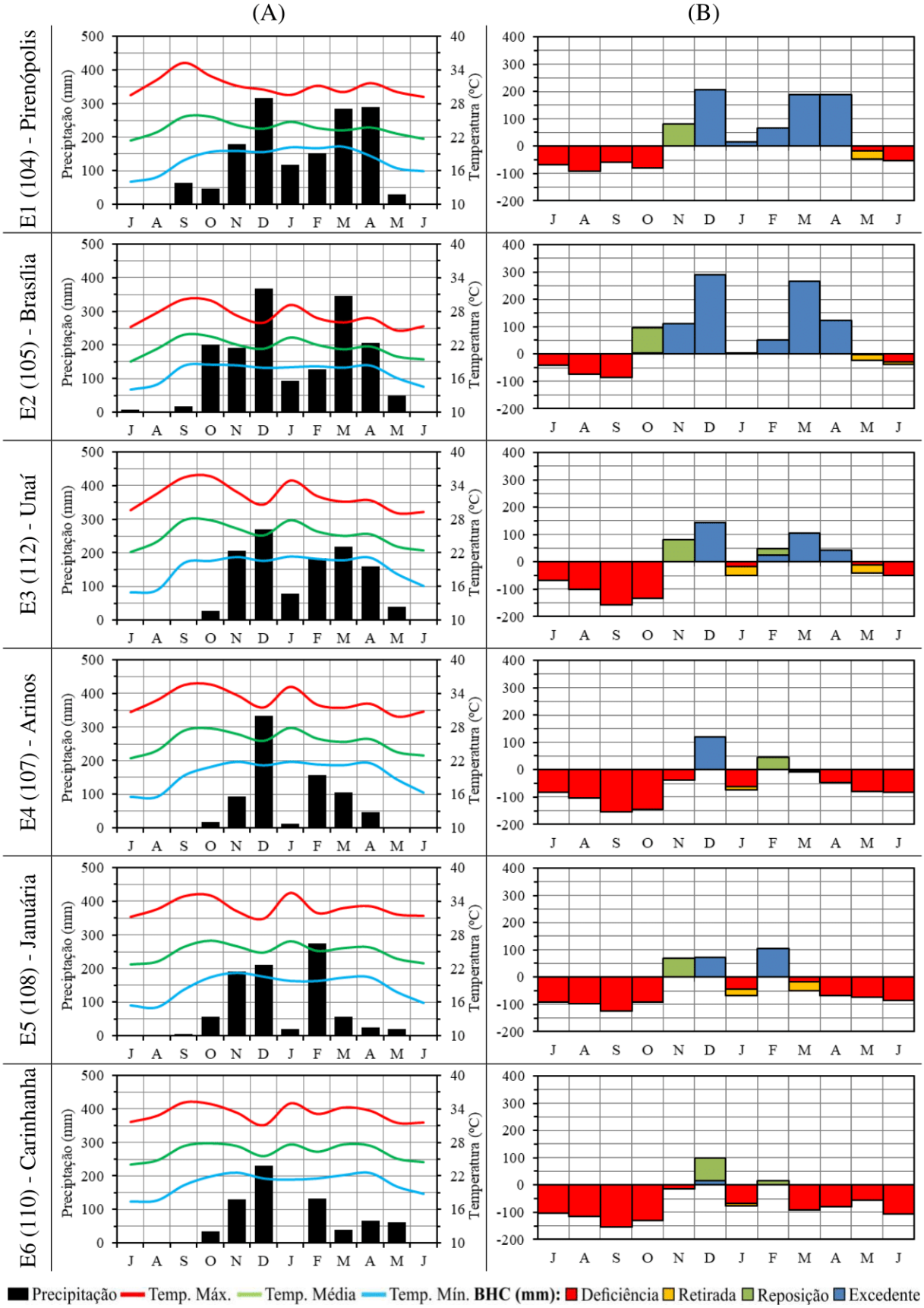
O período chuvoso médio (novembro a março) teve a precipitação média mensal de 160,8mm, com mês mais chuvoso em dezembro (204,5mm) e menos chuvoso em janeiro (56,7mm). Esses extremos pluviais apresentaram, respectivamente, as frequências relativas acumuladas de 88,5% e 100% e estiveram concentrados em quatro classes: 0mm-77mm (1,6% e 69,7%), 77mm-154mm (29,5% e 27,9%), 154mm-231mm (35,2% e 1,6%) e 231mm-308mm (22,1% e 0,8%). O destaque pluvial do ano agrícola 2014/2015 ficou por conta da média de janeiro, quando precipitou somente 28,7% em relação à média histórica mensal (197,9mm).

O detalhamento temporal das estações situadas no transecto A-B (Figura 96) e C-D (Figura 97) apontam que as maiores temperaturas, tanto da máxima como da média compensada, ocorreram entre os meses de setembro e/ou outubro e variaram, respectivamente, entre 30,2ºC (E2-Brasília) e 35,6ºC (E3-Unaí e E4-Arinos) para temperatura máxima e 23,8ºC (E2-Brasília) e 27,9ºC (E4-Arinos) para temperatura média compensada. Já menores temperaturas de média compensada (18,6ºC em E7-Patos de Minas a 24,1ºC em E6-Carinhanha) e mínimas (12,9ºC em E7-Patos de Minas a 17,4ºC em E6-Carinhanha) ocorreram no mês de julho.

A justificativa da recorrência das localidades de E2-Brasília, E6-Carinhanha e E7-Patos de Minas em possuírem as menores ou maiores médias de mínima e máxima de temperatura do ar já foi discutida nos Capítulos 5.2.2 (Decomposição nas escalas sazonal e mensal, p. 109) e 5.4 (Ano Agrícola 2004/2005, p. 159).

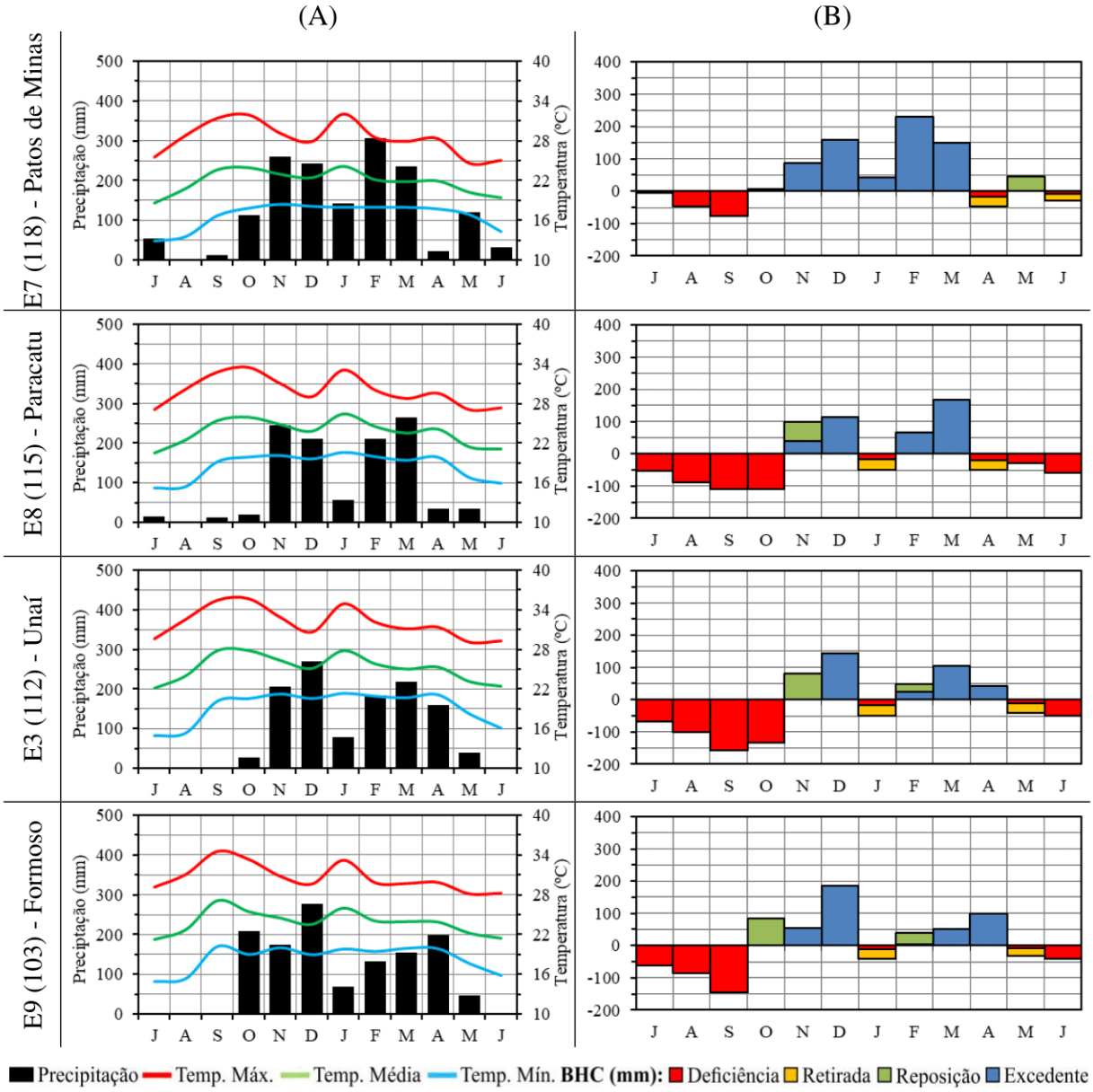
A baixa pluviosidade presente em todas as estações dos transectos no mês de janeiro esteve relacionada ao aquecimento anômalo do ar, refletido, sobretudo, nas temperaturas máximas e médias compensadas. Esse impacto ocorreu com maior intensidade nas localidades de menor altitude situadas na depressão da bacia do Rio São Francisco, respectivamente, nos desvios das estações E5-Januária (4ºC e 1,7ºC), E7-Patos de Minas (3,1ºC e 1,3ºC), E3-Unaí (3ºC e 2,1ºC), E6-Carinhanha (3ºC e 1,5ºC), E8-Paracatu (2,5ºC e 1,8ºC) e E4-Arinos (2,4ºC e 2ºC) em comparação às médias históricas desse mês (Quadro 14).

Figura 96 - (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico mensal do ano 2014/2015 para as estações situadas no transecto A-B (Oeste/Leste).



Fonte: adaptado de INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 97 - (A) Climograma e (B) Balanço Hídrico mensal do ano 2014/2015 para as estações situadas no transecto C-D (Sul/Norte).



Fonte: adaptado de INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Quadro 14 - Anomalias da temperatura do ar e pluviosidade nos transectos A-B e C-D do mês de janeiro do ano agrícola 2014/2015 em relação à média histórica (1995/1996 a 2014/2015).

Variável Climática		Unidade Medida	Transecto A-B						Transecto C-D			
			E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E3	E9
Temperatura do Ar	Máxima	ºC	2,7	2,3	+3,0	2,4	4,0	3,0	3,1	2,5	3,0	2,4
		%	9,0	8,6	+9,4	7,4	12,7	9,4	10,7	8,2	9,4	7,8
	Média Comp.	ºC	1,0	1,4	+2,1	2,0	1,7	1,5	1,3	1,8	2,1	1,8
		%	4,2	6,4	+8,2	7,3	6,7	5,7	5,7	7,3	8,2	7,4
	Mínima	ºC	-0,6	-0,3	+0,5	0,6	-0,7	0,1	-0,6	0,2	0,5	0,5
		%	-3,1	-1,6	+2,4	2,8	-3,4	0,5	-3,2	1,0	2,4	2,5
Pluviosidade		mm	-170,6	-111,6	-109,5	-166,3	-123,0	-106,8	-123,0	-202,6	-109,5	-104,4
		%	-59,2	-54,3	-57,9	-93,1	-85,6	-99,5	-46,4	-78,3	-57,9	-60,1

Fonte: adaptado de INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

O gradiente pluvial do ano agrícola 2014/2015, formado entre as áreas à oeste e sul (mais chuvoso) em relação à leste e norte (mais seco), ainda estiveram presentes, porém apresentaram condições distintas às encontradas na média histórica regional. A intensidade dos desvios anuais foram positivos nas estações E2-Brasília (8,2%), E7-Patos de Minas (7%) e E9-Formoso (3,5%) e negativos nas estações E1-Pirenópolis (-13,6%), E3-Unaí (-7,7%), E4-Arinos (-30,6%), E5-Januária (-10,5%), E6-Carinhanha (-15,2%) e E8-Paracatu (-22,2%).

Os totais pluviométricos precipitados foram de 1.605,8mm (E2-Brasília) a 693,7 (E6-Carinhanha) no transecto A-B (Δ=912,1mm) e entre 1.540,8mm (E7-Patos de Minas) e 1.098,5mm (E8-Paracatu) no transecto C-D (Δ=442,3mm), correspondendo, respectivamente, ao aumento da amplitude pluvial de 1,7% no transecto oeste/leste e de 101,4% no transecto sul/norte em relação à média histórica (Δ=897,2mm e 219,6mm).

O mês de dezembro foi o mais chuvoso em cinco estações, com exceções de E5-Januária e E7-Patos de Minas em fevereiro e E8-Paracatu em março. Tal como foi verificado no gráfico de *Box-Plot* e no histograma do ano agrícola em tela, o mês de janeiro foi excepcionalmente seco em todas as oito estações em relação à média histórica dos transectos (Figuras 45 e 46, p. 117-118). Os desvios absolutos foram entre -202,6mm (E8-Paracatu) e -104,4mm (E9-Formoso) e os desvios percentuais variaram entre -99,5% (E6-Carinhanha) e -46,4% (E7-Patos de Minas), porém, notou-se que os impactos negativos foram muito mais intensos nas estações E4-Arinos (-93,1%), E5-Januária (-85,6%) e E6-Carinhanha (-99,5%), como pode ser observado no Quadro 14.

Quando as variações pluviotérmicas na escala mensal foram analisadas sob a ótica do BHC foi possível averiguar como as disparidades locais encontradas no ano agrícola 2014/2015 se relacionam com as médias dos 20 anos. Observa-se no Quadro 15 que dentre as oito estações analisadas nos transectos A-B/C-D somente E2-Brasília obteve um mês a mais de EXC (outubro) em relação à média, enquanto que nas demais estações houve redução em cinco localidades (E1-Pirenópolis, E3-Unaí, E4-Arinos, E5-Januária e E8-Paracatu) e a manutenção do total de meses em duas (E6-Carinhanha e E7-Patos de Minas).

Quadro 15 - Total de meses com Excedente ou Deficiência hídrica nos transectos A-B e C-D no ano agrícola 2014/2015 e seus desvios em relação à média entre 1995/1996 a 2014/2015.

Variável do Balanço Hídrico	Síntese	Transecto A-B						Transecto C-D			
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E3	E9
Excedente Hídrico	Σ	5	7	4	1	2	1	5	4	4	5
	Δ	-1	+1	-1	-3	-2	-	-	-1	-1	-
Deficiência Hídrica	Σ	6	5	7	10	9	10	5	8	7	6
	Δ	+1	-	-	+3	+2	-	-2	+1	-	-1

Fonte: adaptado de INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

O aumento de meses com DEF e a intensidade mensal de perda de água do solo foi muito mais forte nas estações situadas na depressão da bacia do Rio São Francisco (E3-Unaí, E4-Arinos, E5-Januária, E6 e E8-Paracatu) em comparação à média. Os desvios pluviotérmicos presentes no mês de janeiro (Quadro 14) foram importantes nesse aspecto, ao proporcionarem a redução drástica dos volumes estocados de EXC nas estações mais à oeste (E1-Pirenópolis, E2-Brasília e E7-Patos de Minas), além de resultarem na ocorrência de DEF nas demais localidades num mês habitualmente chuvoso e de EXC para todas as microrregiões analisadas (Quadro 16).

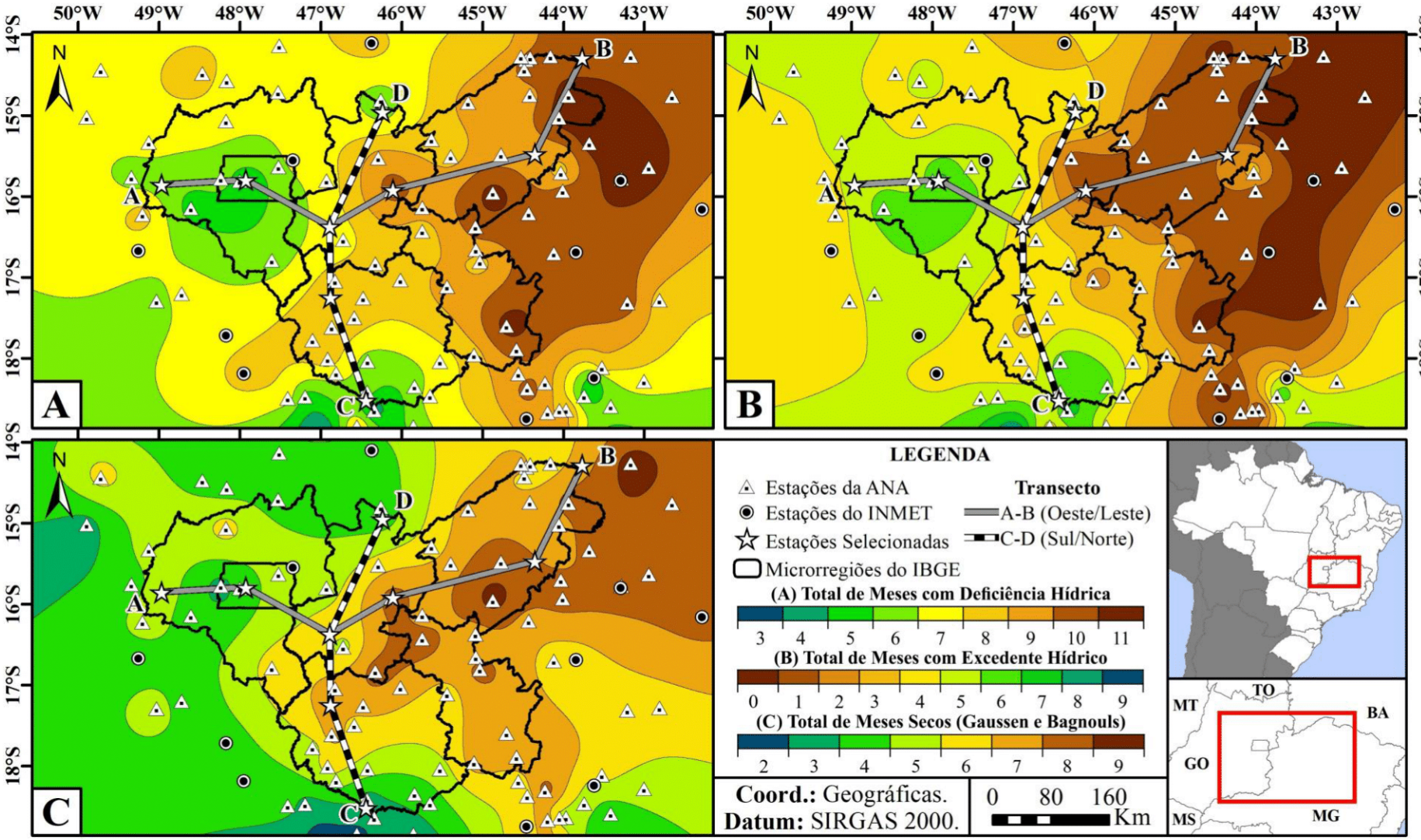
Quadro 16 - Anomalias do Balanço Hídrico Climatológico nos transectos A-B e C-D do mês de janeiro do ano agrícola 2014/2015 em relação à média histórica (1995/1996 a 2014/2015).

Variável do Balanço Hídrico	**Unidade Medida**	**Transecto A-B**						**Transecto C-D**			
		E1	**E2**	**E3**	**E4**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**	**E3**	**E9**
Excedente Hídrico	mm	-181,5	-124,3	-75,7	-60,7	-35,2	*	-135,6	-157,7	-75,7	-76,0
	%	-92,3	-98,7	*	*	*	*	-75,5	*	*	*
Deficiência Hídrica	mm	*	*	18,3	62,9	44,4	67,7	*	18,2	18,3	11,0
	%	*	*	-	-	-	-	*	-	-	-
* Ausência de volumes de Excedente ou Deficiência Hídrica no solo no mês de janeiro.											

Fonte: adaptado de INMET (2018a). Elaborado pelo autor.

As características descritas para os meses de EXC ou DEF das estações nos transectos foram muito semelhantes à configuração espacial para as microrregiões de estudo e na quantidade de dias secos (Figura 98). Ao comparar com as médias (Figura 47, p. 120), as áreas de maior altitude à oeste tiveram maior ocorrência de meses com EXC e redução de DEF e Seca, opondo-se as áreas à leste que sofreram com maior intensidade as severidades dos meses de estiagem.

Figura 98 - Espacialização da soma de meses no ano com (A) Deficiência Hídrico no Solo, (B) Excedente Hídrico no Solo e (C) Secos (Gaussen e Bagnouls) no entorno de Unaí-MG: 2014/2015.

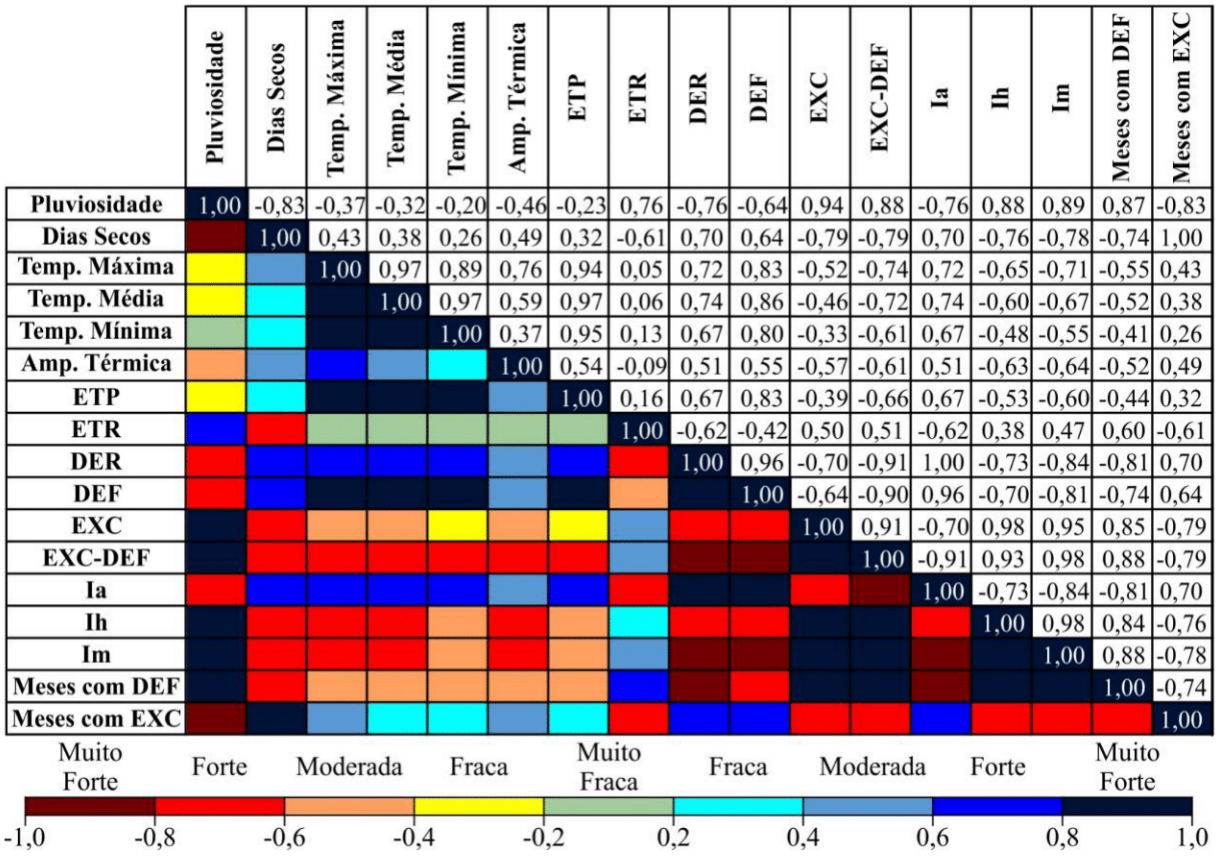


Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

5.5.1 Unidades climáticas do ano agrícola 2014/2015

A comparação entre as matrizes de correlação de Pearson para os dados das variáveis climáticas do ano 2014/2015 (Figura 99) e os dados médios entre 1995/1996 e 2014/2015 (Figura 48, p. 122) aponta importantes diferenças, sendo que as principais alterações foram:

Figura 99 - Matriz de correlação de Pearson dos dados climáticos (pluviotérmicos e índices do balanço hídrico climatológico) do ano agrícola 2014/2015 no entorno de Unaí-MG.



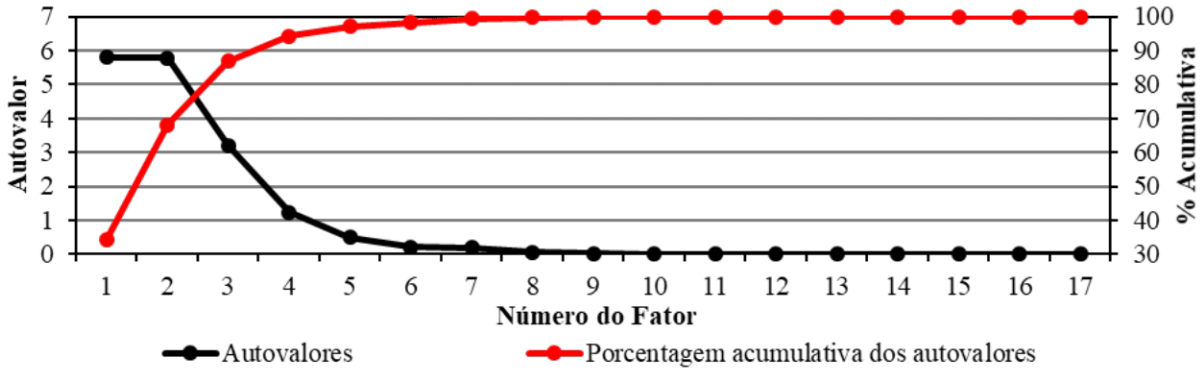
Fonte: elaborado pelo autor.

a) redução dos valores negativos de Amplitude Térmica com a Pluviosidade (fraca para moderada) e com o EXC-DEF, Ih e Im (moderada para forte);
b) valores positivos de ET_r tiveram aumento para as variáveis de Pluviosidade (moderada para forte) e EXC, EXC-DEF, Ih e Im (muito fraca para moderada), além da redução para Temperaturas Máxima, Média Compensada, Mínima, Amplitude Térmica e ET_p (moderada e fraca para muito fraca). Também houve redução dos valores negativos para o Total de Dias Secos (fraco para forte) e de DER e Ia (muito fraco para muito forte);
c) DEF apresentou aumento da intensidade da correlação negativa para Pluviosidade e positiva para Total de Dias Secos, ambos de moderado para forte;
d) diminuição da intensidade da correlação de EXC com o Total de Dias Secos, DER e Ih, de muito forte para forte, e da Temperatura Mínima e ET_p, de moderado para fraco;

e) Meses com EXC e DEF tiveram a inversão dos sinais de correlação em quase todas as variáveis, de positivas para negativas e vice versa, exceto pelo resultado obtido entre ambas as variáveis (negativas tanto na média como no ano). Houve aumento da correlação dos meses de DEF (forte para muito forte) para Pluviosidade, DER, EXC-DEF, Ia, Ih e Im e Meses de EXC, além da redução da correlação para Temperaturas Média Compensada, Mínima, ET_p, EXC-DEF e Im para os Meses de EXC.

O emprego da técnica de AF em CP's em conjunto com a adoção do critério de Kaiser (BEZERRA, 2007) possibilitou definir que os quatro primeiros fatores correspondessem à inércia explicada acumulada das variáveis de 94,2% (1º Fator com 34,1%, 2º Fator com 34%, 3º Fator com 18,8% e 4º Fator com 7,3%), conforme é exemplificado pela Figura 100.

Figura 100 - Gráfico de *Scree Plot* dos autovalores após rotação (Varimax): ano 2014/2015.



Fonte: elaborado pelo autor.

As cargas fatoriais dos quatro componentes e seus respectivos itens comuns (Tabela 29) indicam que somente três variáveis, Total de Meses com DEF (0,88) e EXC (0,87) e Total de Dias Secos (0,76), resultaram em valores de itens comum abaixo de 0,98.

Tabela 29 - Cargas fatoriais rotacionadas (Varimax), itens comuns e características dos fatores das estações situadas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2014/2015.

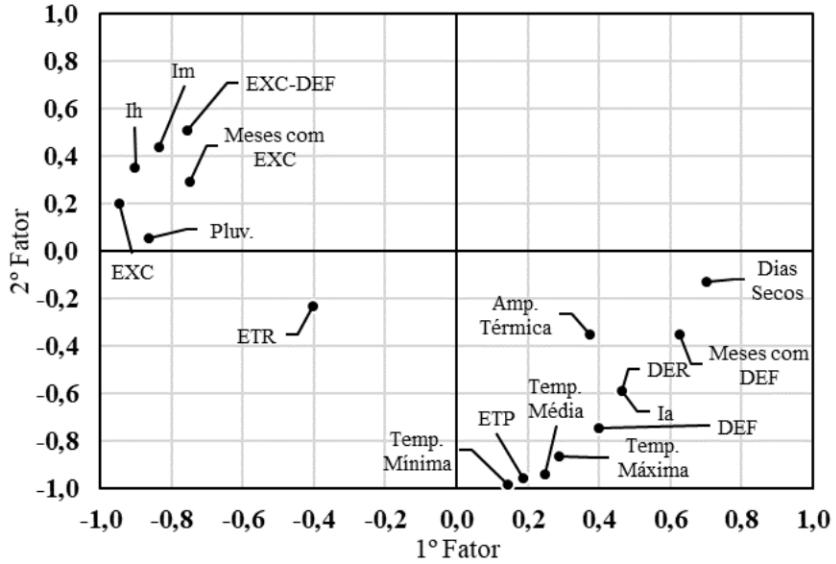
Fator	Pluv.	Dias Secos	Temperatura				ET_p	ET_r	DER	DEF	EXC	EXC-DEF	Ia	Ih	Im	Meses com	
			Máx.	Méd.	Mín.	Amp.										DEF	EXC
1º	-0,86	0,70	0,29	0,25	0,14	0,37	0,19	-0,40	0,46	0,40	-0,95	-0,76	0,46	-0,9	-0,8	0,63	-0,75
2º	0,06	-0,13	-0,86	-0,94	-0,98	-0,35	-0,96	-0,24	-0,61	-0,75	0,20	0,51	-0,60	0,35	0,44	-0,35	0,29
3º	0,48	-0,45	-0,07	-0,07	-0,05	-0,06	-0,01	0,88	-0,65	-0,50	0,19	0,37	-0,70	0,12	0,27	-0,60	0,45
4º	0,09	-0,23	-0,41	-0,20	0,03	-0,85	-0,16	-0,05	-0,10	-0,12	0,15	0,15	-0,10	0,19	0,18	-0,16	0,12
Comum	0,99	0,76	1,00	0,99	0,99	1,00	0,98	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,88	0,87
Atributos:	1º Fator (Hídrico):		+	-	2º Fator (Térmico):		-	3º Fator (Evapotransp.):			+	-	4º Fator (Amp. Tér.):			-	

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise conjunta dos valores das cargas fatoriais da Tabela 29 (superiores e inferiores a ±0,6) e a plotagem das cargas fatoriais dos dois primeiros fatores (Figura 101) indicam que: (a) o primeiro fator corresponde às variáveis hídricas, com os valores negativos para

Pluviosidade, EXC, EXC-DEF, Ih, Im e Meses com EXC e positivos para Total de Dias Secos e Meses com DEF; (b) o segundo fator relaciona-se com as variáveis térmicas, com todos os valores negativos para Temperaturas Máxima, Média Compensada e Mínima, Amplitude Térmica, ET_p, DER e Ia; (c) o terceiro fator vincula-se às evapotranspiração, através da ET_r, DER, Ia e meses de DEF; e (d) o quarto fator resume as características da Amplitude Térmica.

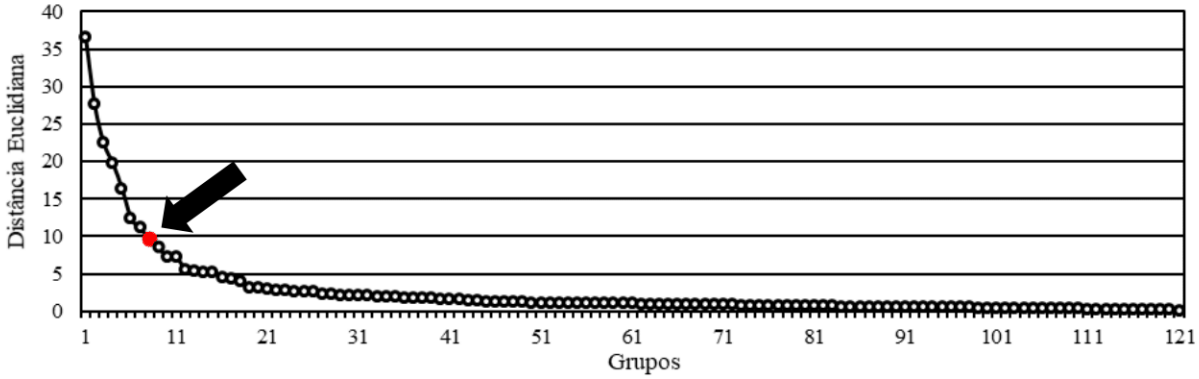
Figura 101 - Gráfico de dispersão das cargas fatoriais (1º e 2º fatores) rotacionadas (Varimax): ano agrícola 2014/2015.



Fonte: elaborado pelo autor.

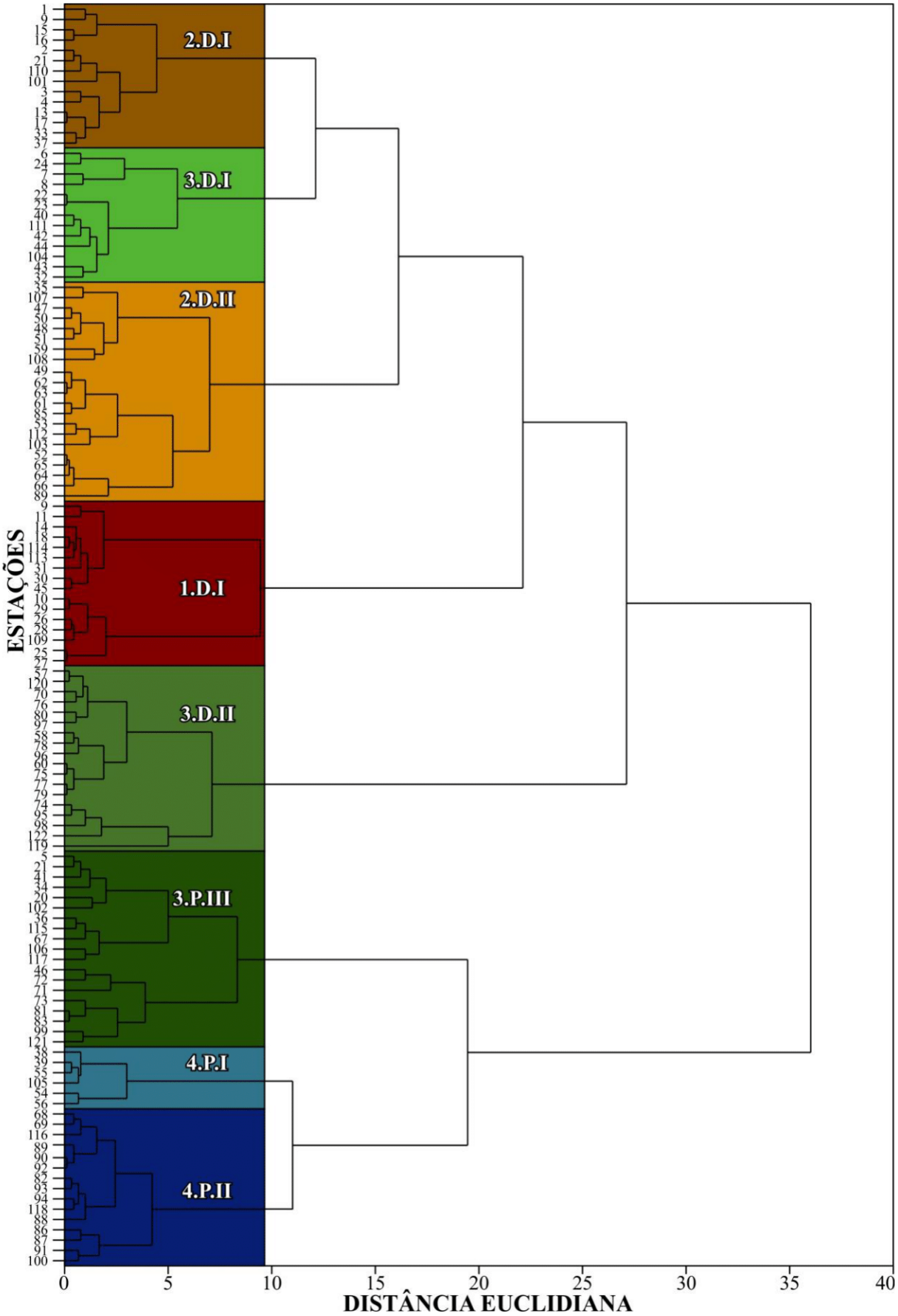
Os dados obtidos pelos coeficientes dos escores de cada fator (Apêndice X, p. 304) e seus respectivos pesos (Apêndice Y, p. 304) foram empregados para determinar a quantidade de unidades climáticas pela técnica de AA. A definição das oito classes levou em consideração a análise do gráfico de Curva de Inércia Intra-grupos (Figura 102), o gráfico de Dendograma (Figura 103) e as classes das unidades climáticas médias (Figura 53, p. 127). A nomenclatura das classes foi a mesma adotada nas unidades climáticas médias e pelo ano agrícola 2004/2005.

Figura 102 - Curva de Inércia Intra-grupos: total de unidades climáticas do ano 2014/2015.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 103 - Dendograma dos agrupamentos (unidades climáticas): ano agrícola 2014/2015.



Fonte: elaborado pelo autor.

A definição da quantidade de unidades climáticas e os seus limites espaciais para ano agrícola 2014/2015 (Figura 104) utilizou os mesmos critérios do ano agrícola 2004/2005 (p. 176), ou seja, as representações cartográficas das variações qualiquantitativas das características climáticas presentes nos diversos espaços da área de estudo (Figuras 91 a 98) foram embasadas pelas discussões realizadas por Jardim (2007; 2010) e Monteiro (2001). O resumo dos atributos climáticos de cada unidade está expresso no Quadro 17.

A dimensão das unidades climáticas e suas variações em relação às unidades médias (Tabelas 30 e 31) indicam fortes contrastes, sobretudo, pela não ocorrência da unidade 2.D.III (zona de transição climática entre as áreas de maior altitude e as áreas topograficamente deprimidas). As condições climáticas em 2014/2015 proporcionaram também o forte recuo das unidades 2.D.II em Januária (-35,4%), 3.P.III em Paracatu (-41%), 4.P.I em Brasília (-27,8%), Entorno de Brasília (-42,9) e sua total ausência em Januária, Paracatu, Pirapora e Unaí.

Tabela 30 - Área ocupada pelas unidades climáticas no ano agrícola 2014/2015 de acordo com as microrregiões do entorno de Unaí-MG

Microrregiões		Área das unidades climáticas (%)									Área Total	
		1.D.I	2.D.I	2.D.II	2.D.III	3.D.I	3.D.II	3.P.III	4.P.I	4.P.II	%	Km²
Brasília		-	-	-	-	-	-	1,0	2,6	-	3,6	5.851
Entorno de Brasília		-	2,4	-	-	4,1	-	7,2	9,6	0,2	23,5	38.197
Januária		7,8	8,0	4,2	-	-	-	0,4	-	-	20,5	33.321
Paracatu		-	-	11,5	-	-	1,2	4,6	-	4,2	21,4	34.784
Pirapora		0,4	-	10,9	-	-	0,4	1,8	-	0,7	14,1	22.918
Unaí		-	3,3	4,8	-	-	-	8,7	-	-	16,9	27.469
Área	**%**	**8,2**	**13,7**	**31,4**	**-**	**4,1**	**1,6**	**23,7**	**12,2**	**5,1**	**100,0**	**-**
Total	**Km²**	**13.441**	**22.275**	**51.039**	**-**	**6.668**	**2.545**	**38.545**	**19.758**	**8.269**	**-**	**162.540**

Fonte: elaborado pelo autor.

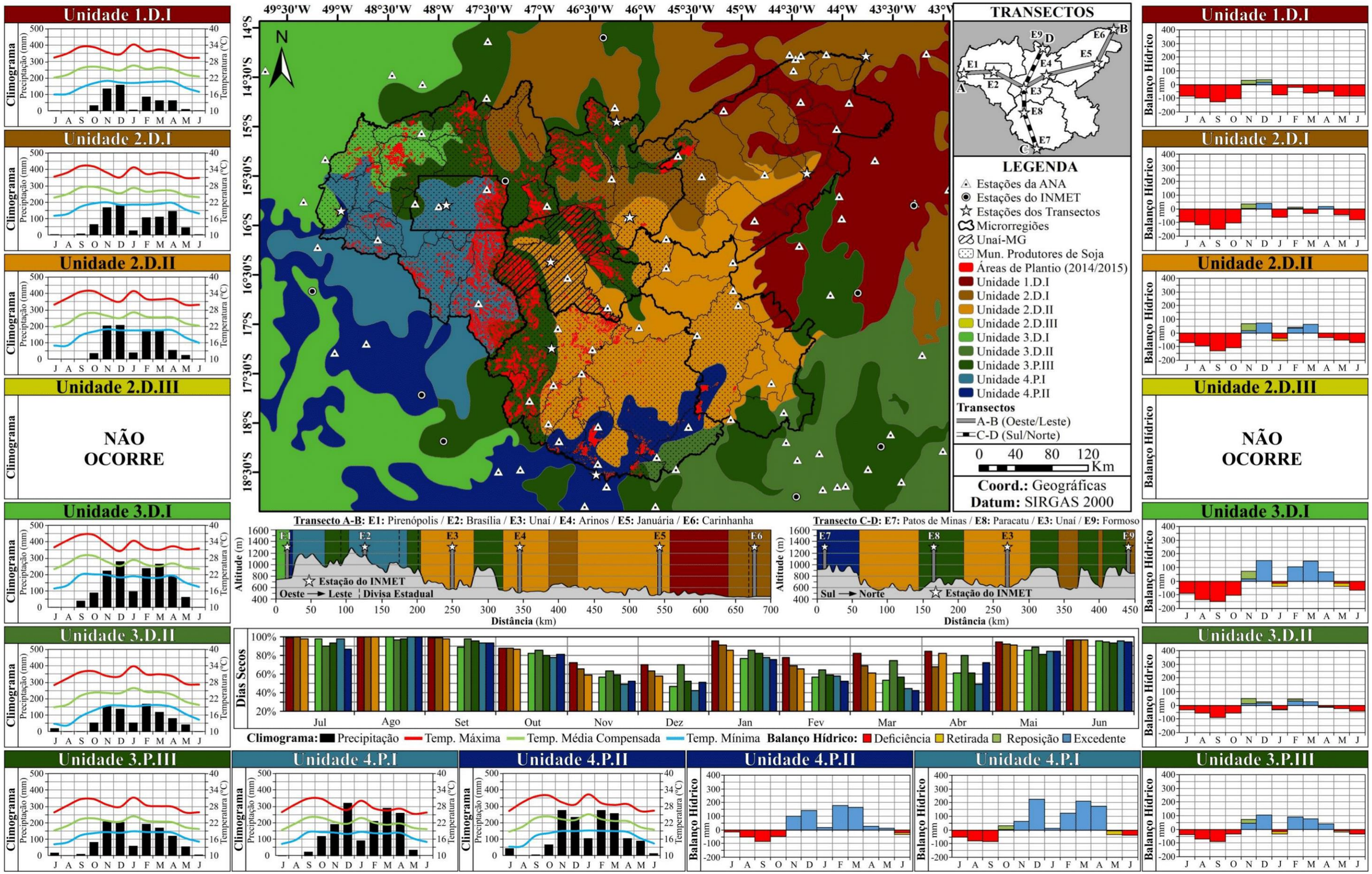
Tabela 31 - Desvio percentual da área ocupada pelas unidades climáticas no ano agrícola 2014/2015 em relação às unidades médias nas microrregiões do entorno de Unaí-MG.

Microrregiões		Desvio da área das unidades climáticas em relação às unidades médias (%)								
		1.D.I	2.D.I	2.D.II	2.D.III	3.D.I	3.D.II	3.P.III	4.P.I	4.P.II
Brasília		-	-	-	-	-	-	100,0*	-27,8	-
Entorno de Brasília		-	100,0*	-	-100,0	241,7	-	3.499,8	-42,9	100,0*
Januária		254,5	0,0	-35,4	-100,0	-	-	100,0*	-100,0	-
Paracatu		-	-	3.733,5	-100,0	-	-14,3	-41,0	-100,0	1.999,9
Pirapora		100,0*	-100,0	65,2	-100,0	-	100,0*	12,5	-100,0	75,0
Unaí		-	100,0*	700,0	-100,0	-	-	100,0*	-100,0	-
Variação	**%**	**272,7**	**33,0**	**124,3**	**-100,0**	**241,7**	**14,3**	**146,9**	**-60,6**	**750,2**
Total	**Km²**	**9.752**	**5.526**	**28.282**	**-48.274**	**4.714**	**325**	**22.918**	**-30.557**	**7.315**

* Não ocorre no mapeado das unidades climáticas médias.

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 104 - Mapeamento das unidades climáticas do ano agrícola 2014/2015 no entorno de Unaí-MG: suas características médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico) e a espacialização das áreas de cultivo de soja.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; 2019; INMET, 2018a; MAPBIOMAS, 2019; USGS, 2018. Elaborado pelo autor.

Quadro 17 - Aspectos estatísticos das unidades climáticas do ano agrícola 2014/2015.

Nº.	Estatística descritiva dos atributos do clima empregados na análise multivariada.		UNIDADES CLIMÁTICAS								
			1.D.I	2.D.I	2.D.II	2.D.III	3.D.I	3.D.II	3.P.III	4.P.I	4.P.II
1	Média Anual da Pluviosidade (mm)	Máximo	730,9	1262,2	1352,4	-	1901,1	1255,8	1397,0	1654,8	1767,4
		Média	565,3	856,6	933,4	-	1502,4	865,8	1131,0	1564,5	1480,9
		Mínimo	396,3	630,8	556,3	-	1065,4	610,1	639,3	1457,4	1260,2
2	Média do Total de Dias no Ano com Precipitação Menor que 1mm (%)	Máximo	95,3	88,5	87,7	-	82,7	90,4	89,6	79,7	80,0
		Média	88,8	84,3	82,3	-	76,0	83,5	76,8	73,1	74,6
		Mínimo	84,1	74,0	75,1	-	66,6	76,4	70,1	68,5	72,1
3	Média Anual da Temperatura Máxima do Ar (ºC)	Máximo	32,9	33,6	32,9	-	35,2	31,4	30,3	28,3	30,5
		Média	31,6	32,6	32,1	-	33,0	30,1	28,2	27,8	29,0
		Mínimo	30,1	30,5	30,7	-	31,2	28,6	24,7	27,0	26,9
4	Média Anual da Temperatura Média Compensada do Ar (ºC)	Máximo	25,8	27,1	25,6	-	28,0	24,0	24,6	22,4	23,6
		Média	24,8	25,7	24,8	-	26,0	22,8	22,1	22,0	22,3
		Mínimo	23,6	23,7	23,5	-	23,5	21,5	19,0	21,2	20,5
5	Média Anual da Temperatura Mínima do Ar (ºC)	Máximo	19,8	21,4	19,6	-	22,0	18,1	20,0	17,9	18,5
		Média	19,1	20,0	19,0	-	20,4	17,2	17,4	17,6	17,2
		Mínimo	18,2	18,6	18,1	-	18,2	15,1	14,9	16,9	16,0
6	Média Anual da Amplitude Térmica (ºC)	Máximo	13,5	13,0	14,0	-	13,3	15,2	12,0	10,4	12,3
		Média	12,6	12,5	13,1	-	12,6	13,0	10,8	10,2	11,8
		Mínimo	11,8	11,6	12,6	-	11,5	12,3	9,5	10,0	10,9
7	Média Mensal Acumulada da Evapotranspiração Potencial no Ano (mm)	Máximo	1501,6	1756,8	1461,7	-	2046,3	1233,6	1313,7	1073,7	1199,9
		Média	1343,6	1504,6	1353,7	-	1584,4	1117,0	1060,5	1036,3	1064,8
		Mínimo	1185,6	1203,1	1182,9	-	1184,8	996,0	840,9	972,6	928,1
8	Média Mensal Acumulada da Evapotranspiração Real no Ano (mm)	Máximo	686,0	969,8	891,5	-	1260,4	951,6	897,8	815,1	925,4
		Média	544,3	787,5	742,7	-	1006,8	764,8	771,2	753,2	840,4
		Mínimo	396,8	633,9	556,7	-	817,6	611,0	638,9	665,3	781,0
9	Média Anual do Déficit de Evapotranspiração Relativa (%)	Máximo	70,8	59,4	56,9	-	46,6	46,1	40,8	34,4	28,4
		Média	59,1	46,9	44,9	-	35,8	31,1	26,4	27,3	20,8
		Mínimo	46,6	24,0	32,0	-	27,0	11,2	13,4	22,3	11,5
10	Média Mensal Acumulada de Deficiência Hídrica no Solo no Ano (mm)	Máximo	988,2	1016,5	801,7	-	891,1	523,6	487,1	367,2	327,0
		Média	799,3	717,1	611,0	-	577,6	352,2	289,4	283,1	224,5
		Mínimo	552,0	306,9	379,1	-	367,2	112,0	118,6	233,7	113,5
11	Média Mensal Acumulada de Excedente Hídrico no Solo no Ano (mm)	Máximo	82,0	389,4	548,6	-	694,2	371,7	605,9	904,0	896,2
		Média	23,1	71,0	192,1	-	495,6	103,4	361,4	811,3	640,6
		Mínimo	0,0	0,0	0,0	-	45,9	0,0	0,4	694,9	472,7
12	Diferença Entre as Médias Anuais de Excedente e Deficiência Hídrica (mm)	Máximo	-499,3	59,1	169,5	-	296,7	259,7	487,3	606,0	782,7
		Média	-776,2	-646,0	-418,8	-	-82,0	-248,8	72,1	528,2	416,1
		Mínimo	-988,2	-1016,5	-753,3	-	-845,2	-523,6	-440,3	383,7	162,5
13	Balanço Hídrico: Índice de Aridez (Ia)	Máximo	70,8	59,4	56,9	-	46,6	46,1	40,8	34,4	28,4
		Média	59,1	46,9	44,9	-	35,8	31,1	26,4	27,3	20,8
		Mínimo	46,6	24,0	32,0	-	27,0	11,2	13,4	22,3	11,5
14	Balanço Hídrico: Índice Hídrico (Ih)	Máximo	6,9	32,4	46,4	-	56,0	37,3	69,1	92,9	91,0
		Média	1,8	5,4	14,5	-	33,0	9,7	35,2	78,6	60,9
		Mínimo	0,0	0,0	0,0	-	2,4	0,0	0,0	64,7	43,1
15	Balanço Hídrico: Índice de Umidade (Im)	Máximo	C1	C2	B1	-	B1	B1	B3	B3	B4
		Média	D	C1	C1	-	C2	C1	C2	B3	B2
		Mínimo	D	D	D	-	C1	C1	C1	B2	B1
16	Média do Total Anual de Meses com Déficit Hídrico no Solo	Máximo	11,0	11,0	11,0	-	8,0	10,0	10,0	8,0	8,0
		Média	10,1	8,9	8,6	-	6,8	8,2	6,9	5,8	6,0
		Mínimo	8,0	6,0	7,0	-	6,0	5,0	5,0	5,0	3,0
17	Média do Total Anual de Meses com Excedente Hídrico no Solo	Máximo	3,0	5,0	4,0	-	5,0	6,0	6,0	7,0	9,0
		Média	0,6	1,3	2,6	-	4,3	2,3	4,1	5,5	5,3
		Mínimo	0,0	0,0	0,0	-	2,0	0,0	1,0	4,0	4,0

Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

A reconfiguração espacial das unidades climáticas em comparação às médias expôs a vigorosa expansão da unidade 2.D.II (acréscimo de 28.282km²) nas áreas majoritariamente ocupadas pela unidade 2.D.III na depressão da bacia do Rio São Francisco, além da expansão relativa das classes: 1.D.I (272,7%) em Januária e Pirapora; 2.D.I (33%) no Entorno de Brasília e Unaí; 2.D.II (124,3%) em Paracatu, Pirapora e Unaí; 3.D.I (241,7%) no Entorno de Brasília; 3.P.III (146,9%) em Brasília, Entorno de Brasília, Unaí e Januária; e 3.P.II (750,2%) em Paracatu e Pirapora.

Os atributos das unidades climáticas (Quadro 17) e os desvios (relativos e absolutos), constatados nas variáveis pluviotérmicas e do BHC em relação à média histórica, explicam a ampliação espacial das regiões com características mais secas e quentes na porção centro-leste rumo à oeste, representadas pelas unidades 1.D.I, 2.D.I e 2.D.II, que juntas somaram 61% da variação total. O aumento espacial dessas unidades reflete a supressão ou alteração substancial das áreas médias com características de transição climática.

A comparação com unidades médias evidenciou que a expansão da unidade 3.P.III (146,9%) ocorreu preferencialmente nas áreas de maior altitude da porção centro-oeste, fruto da drástica redução espacial da unidade 4.P.I (-60,6%). Essa condição possibilitou que a unidade 3.P.III possuísse características pluviais, térmicas e do BHC de transição climática (Quadro 17 e Figura 104) entre as áreas de maior altitude da unidade 4.P.I e das unidades 2.D.II (porção norte, do Vão de Paranã), 2.D.III (porção centro-leste, da depressão da bacia do Rio São Francisco) e 3.D.I (porção oeste, da depressão intermontana de Ceres) de menor altitude.

Ao detalhar temporalmente os dados médios das unidades na escala mensal (climograma e BHC) evidenciou-se condições climáticas muito semelhantes às descritas nas estações meteorológicas dos transectos A-B e C-D. O destaque, novamente, é o mês de janeiro, quando ocorreu o aumento médio das temperaturas, redução dos volumes pluviais e o aumento na quantidade de dias secos em comparação às médias históricas. Essas características atuaram conjuntamente e de modo heterogêneo em todas as microrregiões analisadas e culminaram na DEF média mensal em sete das nove unidades climáticas.

As duas únicas unidades climáticas que tiveram EXC em janeiro, 4.P.I e 4.P.II, apresentaram, respectivamente, desvios médios de -89,6% (-116,6mm) e -89,2% (-135,7mm) em relação à média entre 1995/1996 e 2014/2015. Essas unidades só conseguiram obter valores positivos de armazenamento de água no solo devido a temperatura do ar ser um pouco menor que as áreas adjacentes (altitude mais elevada) aliada a volumes pluviais significativamente maiores que as outras unidades climáticas.

A intersecção espacial entre a distribuição das áreas de lavoura de soja e as unidades climáticas proporcionou entender como e onde as características anuais dos elementos climáticos podem ter influenciado as áreas produtoras (Figura 104 e Tabela 32).

Tabela 32 - Área total ocupada pelas lavouras de soja no ano agrícolas 2014/2015 de acordo com as unidades climáticas localizadas nas microrregiões do entorno de Unaí-MG.

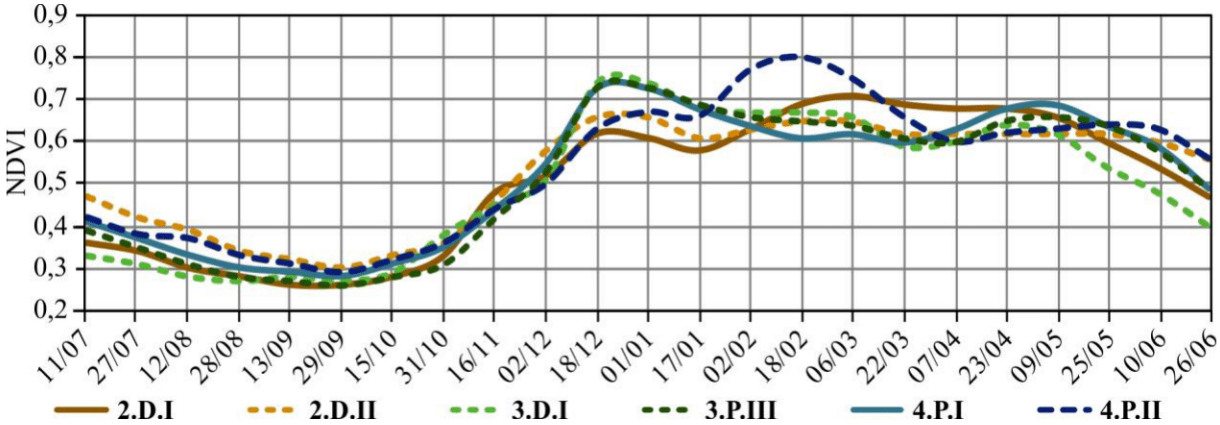
Microrregiões		Área ocupada pelas unidades climáticas (%)									Área Total	
		1.D.I	2.D.I	2.D.II	2.D.III	3.D.I	3.D.II	3.P.III	4.P.I	4.P.II	%	ha
Brasília		-	-	-	-	-	-	3,3	3,5	-	6,8	84.469
Entorno de Brasília		-	0,5	-	-	5,2	-	12,6	21,1	0,0	39,4	490.026
Januária		-	0,4	-	-	-	-	1,8	-	-	2,2	27.021
Paracatu		-	-	6,2	-	-	0,1	13,0	-	4,3	23,5	292.630
Pirapora		-	-	0,2	-	-	-	0,3	-	1,0	1,4	17.965
Unaí		-	0,3	1,6	-	-	-	24,7	-	-	26,6	330.912
Área	**%**	**-**	**1,2**	**8,0**	**-**	**5,2**	**0,1**	**55,7**	**24,6**	**5,3**	**100,0**	**-**
Total	**ha**	**-**	**13.720**	**98.736**	**-**	**64.230**	**783**	**694.870**	**305.224**	**65.460**	**-**	**1.243.022**

Fonte: elaborado pelo autor.

As lavouras de soja em 2014/2015 (1,243 milhões de hectares) estiveram 89,5% concentradas em três microrregiões (Entorno de Brasília, Unaí e Paracatu) e com 88,3% de suas áreas situadas em três unidades climáticas (3.P.III com 55,7%, 4.P.I com 24,6% e 2.D.II com 8%). Considerando a sobreposição das áreas de plantio com as unidades climáticas das três microrregiões com maior área plantada, observou-se que no Entorno de Brasília elas estiveram dispostas nas unidades 4.P.I (51,5%) e 3.P.III (48,5%), enquanto que em Unaí estiveram presentes nas unidades 3.P.III (92,9%), 2.D.II (6%) e 2.D.I (1,1%), e em Paracatu localizavam-se nas unidades 3.P.III (55,1%), 2.D.II (26,3%) e 4.P.II (18,2).

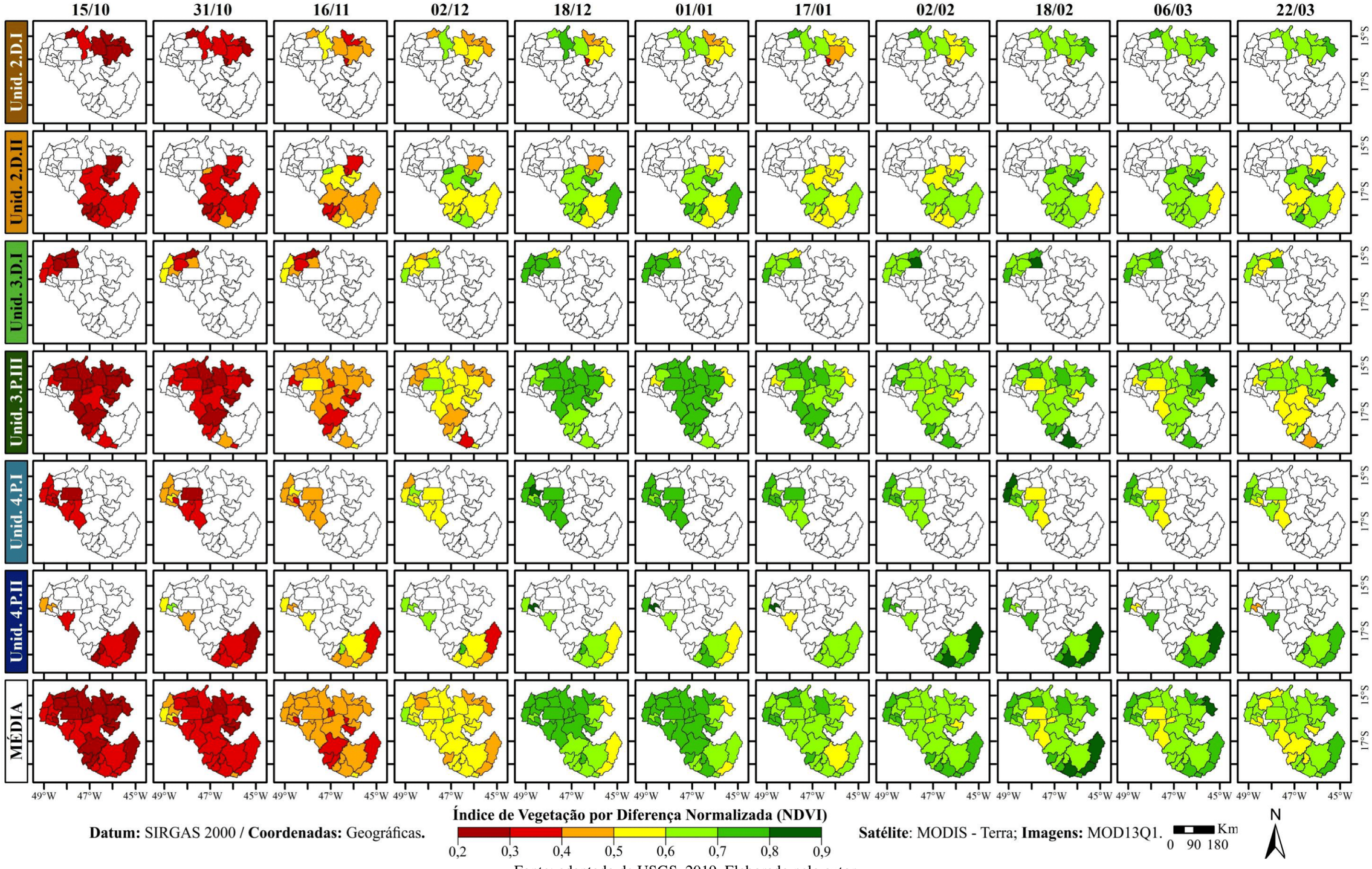
O cruzamento das informações médias de NDVI das lavouras por unidade climática (Figura 105) e das unidades climáticas por município (Figura 106) produtor possibilitou identificar quando e onde o desenvolvimento fenológico da soja foi insatisfatório, além de permitir correlacioná-los com as condições climáticas ao longo do ano agrícola 2014/2015.

Figura 105 - Valores médios de NDVI das áreas de plantio de soja de acordo com as unidades climáticas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2014/2015.



Fonte: adaptado de USGS, 2019. Elaborado pelo autor.

Figura 106 - Espacialização por município dos valores de NDVI das áreas de plantio durante o ciclo de crescimento da soja e suas relações com as unidades climáticas no entorno de Unaí-MG: ano agrícola 2014/2015.



Fonte: adaptado de USGS, 2019. Elaborado pelo autor.

A média dos valores de NDVI indicou que o começo da semeadura e a ocorrência do primeiro estágio fenológico da soja (Estabelecimento) oscilou entre os dias 30/09 e 31/10 nos diferentes municípios produtores (Figura 20, p. 58), fruto das primeiras chuvas com volumes mais significativos que possibilitaram o início do calendário agrícola para o plantio da soja.

O período entre 01/11 e 01/01 foi caracterizado pelo rápido aumento dos valores médios de NDVI (0,3 até 0,8) e indica que as plantas de soja já completaram todo o ciclo de Desenvolvimento Vegetativo. Entretanto, os estágios de Floração ou início da Frutificação ocorreram de modo heterogêneo entre os municípios e unidades climáticas em razão dos diferentes momentos de início da semeadura. Os cultivos presentes nas unidades climáticas 3.D.I, 3.P.III e 4.P.I possuíram valores médios mais elevados de NDVI, que sugerem estágios fenológicos mais avançados, em oposição às lavouras situadas nas unidades 2.D.I, 2.D.II e 4.P.II, que apresentaram diferentes momentos fenológicos dos cultivos ao não acompanharem cronologicamente e qualitativamente o mesmo desempenho das demais localidades.

As características do NDVI de 02/01 a 02/02 foram muito diferentes em comparação aos mesmos períodos fenológicos do ano agrícola 2004/2005, quando houve o ápice do período de Floração/Frutificação, sobretudo pelos seguintes aspectos: (1) não ocorrência de valores com picos entre 0,8 e 0,9; (2) redução dos valores médios em todos os municípios e unidades climáticas; e (3) as unidades 2.D.I e 2.D.II, situadas na depressão da bacia do Rio São Francisco, apresentaram diminuição dos valores médios com maior antecedência e intensidade que as áreas de maior altitude das unidades 3.P.III e 4.P.I. A maior variação negativa do NDVI nos estágios fenológicos de Floração e/ou Frutificação foi atípica em comparação a cultivos com condições fenológicas normais e indica que os desvios pluviotérmicos proporcionaram *stress* hídrico em parte dos cultivos. Portanto, pode-se inferir que a redução da produtividade da safra de soja do ano agrícola 2014/2015 foi resultante de condições climáticas adversas no mês de janeiro em todas as microrregiões, através das altas temperaturas, baixa pluviosidade e aumento de dias secos que proporcionaram reduzidos totais de EXC ou a presença de DEF (Figura 104, p. 203).

A retomada da regularidade das chuvas a partir de fevereiro e seu prolongamento até o final de março possibilitou que os cultivos que conseguiram suportar naturalmente ou artificialmente (irrigação) as condições pluviotérmicas do mês de janeiro concluíssem o estágio de Frutificação e, posteriormente, alcançassem o estágio final de Maturação. Esse fato foi verificado pela diminuição gradual dos valores de NDVI em função do início do processo de senilidade das folhas e redução do índice de área foliar, que sinalizam o princípio da colheita.

Conclui-se esse capítulo com a constatação de que o conjunto de variáveis analisadas de temperatura, precipitação, BHC e a síntese pela delimitação das unidades climáticas

apontaram que o ano agrícola 2014/2015 foi muito diferente em relação às condições médias entre 1995/1996 e 2014/2015 (Figura 53, p. 127) e do ano agrícola 2004/2005 (Figura 87, p. 177). As características climáticas nas escalas anual e mensal indicaram que as variações negativas de produtividade de soja nos municípios produtores foram fortemente vinculadas às condições pluviotérmicas na escala regional, sobretudo pelos importantes desvios relativos presentes no mês de janeiro. As condições climáticas em janeiro e os valores decrescentes do NDVI durante e após esse mês apontaram que a redução da produtividade pode estar atrelada ao possível *stress* hídrico que impactou negativamente as plantas de soja e prejudicaram a resultados obtidos. Porém, a explicação das causas que originaram a perda de parte da produção da safra 2014/2015 em diversos municípios só poderá ser conclusiva ao analisar na escala diária a gênese climática responsável pelas condições constatadas nas escalas anual e mensal.

A seguir serão realizadas as etapas de descrição, análise e comparação da circulação atmosférica regional e sua respectiva contribuição na gênese pluvial dos anos agrícolas 2004/2005 e 2014/2015 nas estações meteorológicas situadas dos transectos A-B e C-D.

5.6 ANÁLISE COMPARATIVA DA GÊNESE CLIMÁTICA: 2004/2005 - 2014/2015

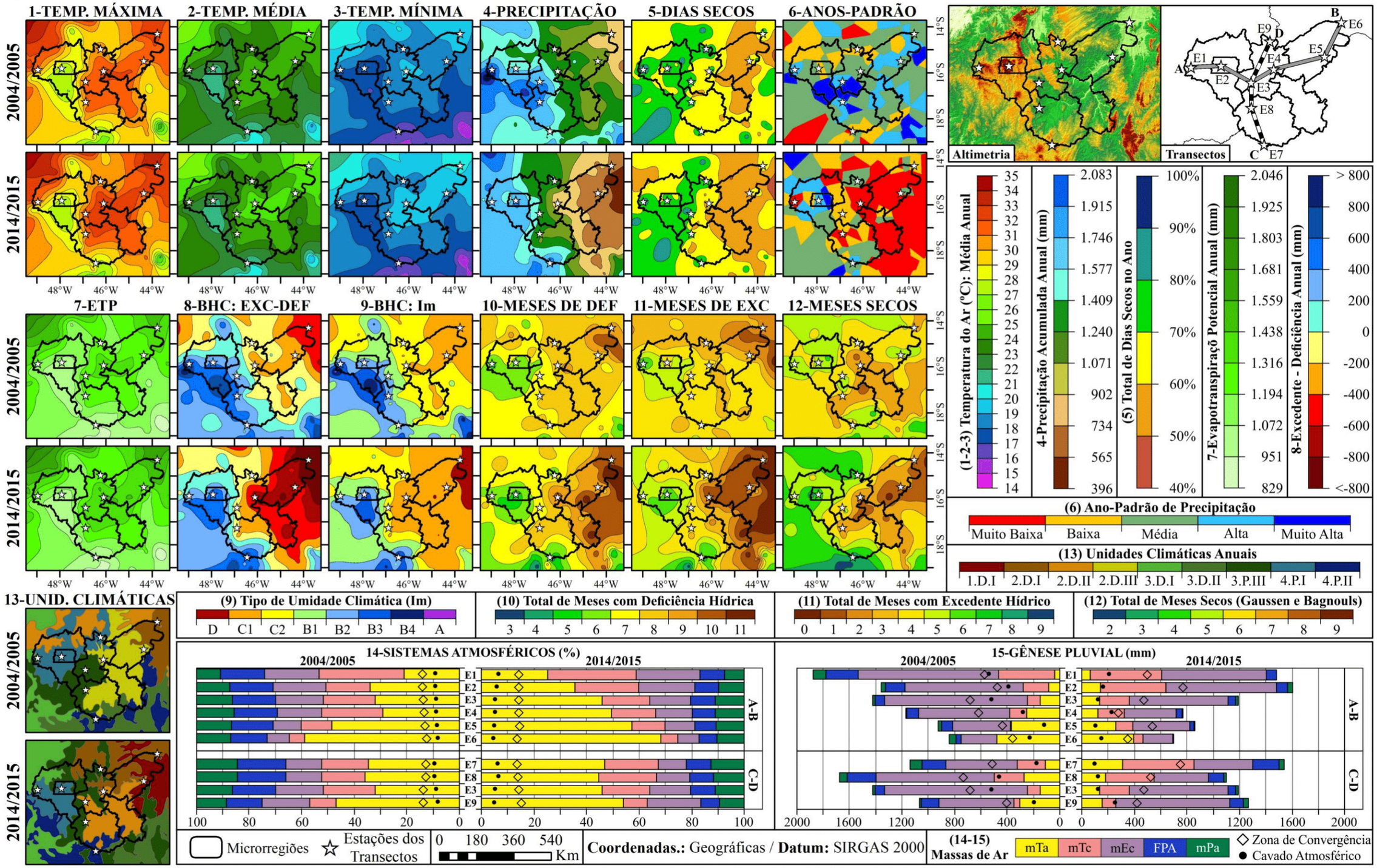
5.6.1 Anual

Ao analisar de forma comparativa a influência das condições climáticas dos anos agrícolas 2004/2005 e 2014/2015 na produtividade regional da soja no entorno de Unaí foi possível constatar que a variabilidade têmporo-espacial dos acumulados e das médias dos elementos climáticos na escala anual foram influenciados por fatores dinâmicos das escalas superiores do clima, sobretudo pelo ritmo de sucessão dos sistemas atmosféricos.

A Figura 107 apresenta um breve resumo das principais características pluviotérmicas e do BHC presentes na área de estudo e permite comparar de forma mais simples as diferenças anuais das condições climáticas dos anos agrícolas selecionados. Além disso, esse material iconográfico consta como grande diferencial o total anual de participação diária, para os horários 09h e 21h, de todas as massas de ar e dos subsistemas atmosféricos (Zona de Convergência e Cavados) atuantes nos transectos A-B (oeste/leste, de E1-Pirenópolis a E6-Carinhanha) e C-D (sul/norte, de E7-Patos de Minas a E9-Formoso). A Figura 108 busca representar a atuação das massas de ar a partir da espacialização dos seus índices de participação e suas relações de sobreposição com as unidades climáticas.

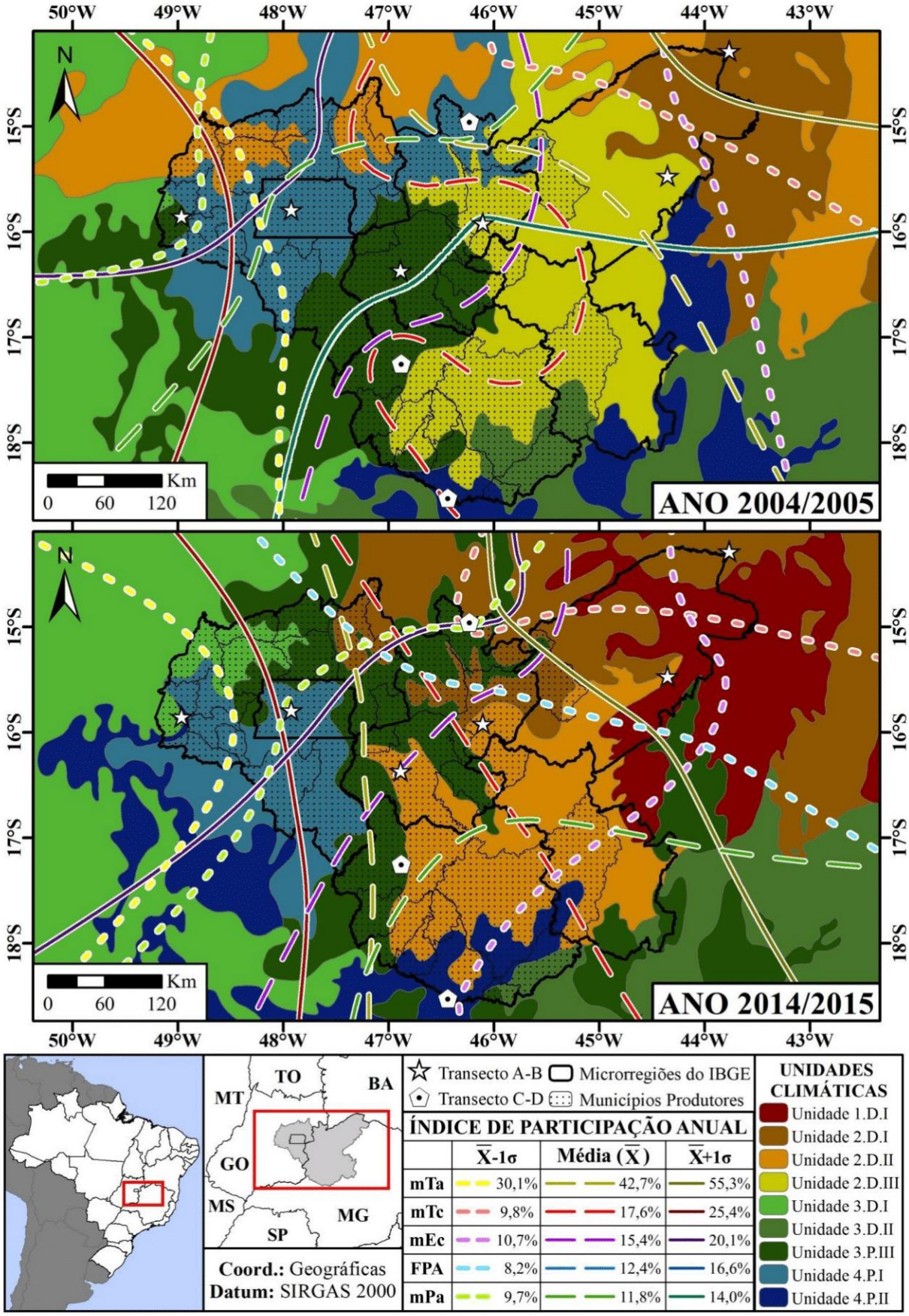
As informações dos sistemas atmosféricos e suas influências nas condições climáticas na escala diária serão analisados a partir dos gráficos de Análise Rítmica (Apêndices B a S, p. 283-300).

Figura 107 - Comparação anual das condições pluviotérmicas, balanço hídrico climatológico e participação dos sistemas atmosféricos e suas contribuições na gênese pluvial no entorno de Unaí: 2004/2005 e 2014/2015



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 108 - Índice de participação anual das massas de ar nos anos agrícolas 2004/2005 e 2014/2015 e suas sobreposições com as unidades climáticas no entorno em Unaí-MG.



Fonte: elaborado pelo autor.

A comparação dos dois anos (Figuras 107 e 108) demonstra que a área de estudo esteve na interface de atuação dos sistemas atmosféricos de diferentes latitudes (equatorial, tropical e subtropical) e origens (continental e oceânica). A localização geográfica de cada estação do transecto determina a maior ou menor influência dos sistemas atmosféricos atuantes, sobretudo pela sua capacidade de abrangência espacial (intensidade do gradiente de pressão) em relação às suas áreas *core* de formação.

As estações situadas mais à oeste apresentam maior participação de sistemas de origem continental, como a Massa Tropical Continental (mTc) e a Massa Equatorial Continental (mEc), que foram gradativamente substituídas rumo à leste pela presença do braço continentalizado da Massa Tropical Atlântica (mTa). Já a diferenciação latitudinal do transecto C-D aponta que a porção meriodional possuiu maior influência de sistemas atmosféricos de origem extratropical, como a Frente Polar Atlância (FPA), as ZCs e a Massa Polar Atlântica (mPa), que gradualmente dão lugar às presenças da mTa e mEc ao adentrarem as menores latitudes da porção setentrional.

Ao comparar a gênese pluvial regional foi possível correlacionar que as áreas com os maiores volumes anuais precipitados correspondem a maior presença anual da mEc, mTc, FF e ZC, em razão de serem sistemas geneticamente associados à dinâmica de circulação de ar de baixa pressão. Essa constatação fica mais evidente ao observar a Figura 107-15, que apresenta a contribuição quantitativa de cada sistema atmosférico na pluviometria anual.

A analogia entre as características dos índices de participação dos sistemas atmosféricos e suas relações espaciais com as unidades climáticas permitiu identificar que no ano 2004/2005 a isolinha média: (a) da mTa esteve concentrada no limite centro-oeste da microrregião de Januária e atuou acima da média nas regiões de clima mais seco e quente de nordeste; (b) da mTc encontrava-se presente no sudoeste de Januária, centro-norte de Pirapora e norte de Paracatu e Unaí, abarcando com participação acima da média as unidades 3.P.III e grande parte ocidental da 2.D.III; (c) da mEc abrangeu as microrregiões de Brasília, Entorno de Brasília e Unaí e teve contribuição acima da média, aproximadamente, na totalidade das unidades 3.P.III e 4.P.I; (d) da mPa somente não abarcou os setores oeste e norte da microrregião do Entorno de Brasília e atuou acima da média em todas as unidades climáticas, com exceção da porção centro-oeste da unidade 4.P.I. Diante desse quadro pode-se afirmar que os limites médios de participação de todos os sistemas atmosféricos aparentemente justificam as diferenças de configuração espacial das unidades climáticas do ano 2004/2005 em relação às suas às unidades climáticas médias, principalmente pelas expansões da unidade 3.P.III para o setor norte e da unidade de transição 2.D.III em quase toda a depressão da bacia do Rio São Francisco.

No ano de 2014/2015 percebe-se que a disposição espacial dos limites de atuação das massas de ar sofreu modificações muito significativas em relação ao ano 2004/2005, sendo melhor identificadas pelo posicionamento das isolinhas médias, através: (a) da mTa que teve

fortíssima expansão rumo à oeste e esteve situada na longitude entre a divisão das microrregiões de Brasília e Unaí e influenciou com participação acima da média as unidades 1.D.I, 2.D.I, 2.D.II e grande proporção do setor leste da 3.P.III; (b) da mTc que possuiu um plano inclinado que proporcionou uma clara divisão entre as porções oeste (microrregiões de Brasília, Entorno de Brasília, Paracatu e centro-sul de Unaí) e leste (microrregiões de Pirapora, Januária e centro-norte de Unaí), com atuação acima da média nas unidades climáticas 3.D.I, 3,P.III, 4.P.I e no setor ocidental da 2.D.II; (c) da mEc que apresentou retração para noroeste e deixou de influenciar o quadrante ocidental da depressão da bacia do Rio São Francisco, além de atuar praticamente na interface entre as unidades climáticas 3.P.III/4.P.I (maior altitude da porção oeste) e 2.D.II/2.D.I (menor altitude da porção leste); (d) do drástico recuo da mPa para as porções centro-sul das microrregiões de Paracatu e Pirapora, e com atuação acima da média, principalmente, na unidades 4.P.II e nos setores sul e sudoeste da unidade 2.D.II. A configuração espacial de atuação das massas pode explicar a ocorrência de unidades climáticas com características mais quentes e secas e a inexistência da unidade de transição 2.D.III no ano 2014/2015 (principalmente na porção centro-oriental), através da ampliação gradual da presença da mTa rumo à oeste que proporcionou o posicionamento da isolinha média de participação numa localidade muito diferente em relação ao ano 2004/2005 que, consequentemente, refletiu no deslocamento da atuação média da mTc e mEc mais para oeste e da mPa mais para o sul.

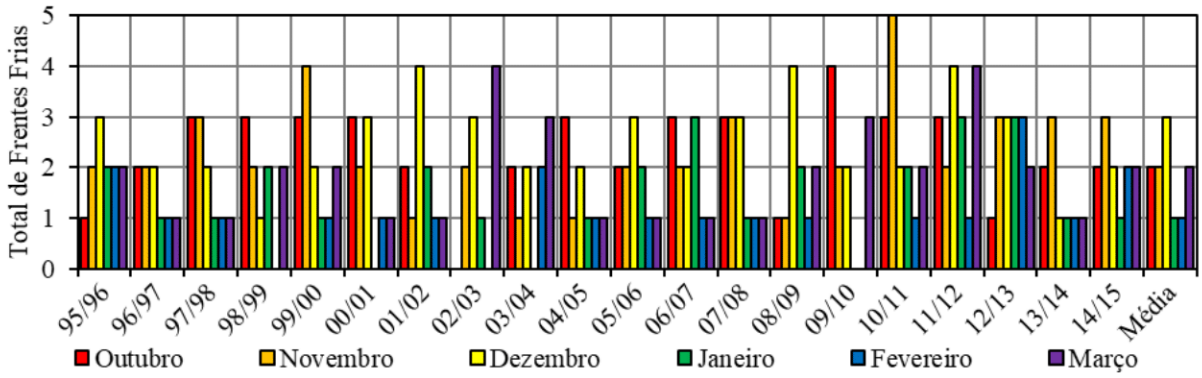
Em relação a contribuição das massas de ar na gênese pluvial entre os dois períodos foi possível identificar que no ano 2014/2015 houve redução dos volumes precipitados em quase todas as estações, com exceção de E7-Patos de Minas e E9-Formoso (explicado pela maior influência, respectivamente, da mTc e da mEc). Nas demais estações verificou-se que a maior presença da mTa no índice de participação dos sistemas (discutido no parágrafo anterior) pode indicar o motivo pelo decréscimo dos volumes pluviais precipitados nesse ano agrícola.

A pluviosidade é um insumo climático fundamental para o desenvolvimento das atividades agrícolas, sobretudo nas regiões tropicais. Ao analisar os principais mecanismos ligados à gênese pluvial no Brasil foi possível determinar a importante influência da incursão de sistemas frontais e suas contribuições na configuração sinótica para formação das Zonas de Convergência (ZC), tanto a ZCOU como a ZCAS, que favorecem o transporte de umidade da Região Norte para as Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país. Nesse sentido, Gan et al. (2016) explicam que a ZCAS é um mecanismo atmosférico fundamental no estabelecimento do regime de monções na América do Sul durante a primavera-verão, em razão do seu desempenho em proporcionar maiores acumulados de precipitação no período chuvoso.

O estudo de Neves para o Estado de Goiás e Distrito Federal possibilitou contabilizar a as passagens das frentes frias durante o período chuvoso na escala mensal, sendo possível notar

que no ano 2004/2005 a variação foi de +50% outubro, -66,6% em novembro, 0% em dezembro e janeiro e -50% em fevereiro e março em comparação ao ano 2014/2015 (Figura 109).

Figura 109 - Total de episódios de frentes frias nos meses de primavera e verão entre os anos agrícolas 1995/1996 e 2014/2015 para Goiás e Distrito Federal.



Fonte: adaptado de NEVES, 2018. Elaborado pelo autor.

O total de ocorrências de frentes frias para os meses mais chuvosos não possibilitou explicar as diferenças presentes nas características já discutidas dos dados climáticos no entorno de Unaí, pois suas passagens correspondem a somente uma fração dos sistemas atmosféricos atuantes ao longo de todo o ritmo de atuação das massas de ar no decorrer dos anos 2004/2005 e 2014/2015 (Figuras 107 e 108).

Os subcapítulos a seguir estão divididos de acordo com os períodos correspondes à sazonalidades climáticas (inverno, primavera, verão e outono) dos anos agrícolas 2004/2005 e 2014/2015, quando serão abordados os seguintes assuntos na escala mensal: (a) evolução das condições sinóticas (CPTEC, 2020a; 2020b, 2020c; INMET, 2020a) e a interpretação realizada no processo de identificação dos sistemas atmosféricos no entorno de Unaí; (b) conexão entre a dinâmica das massas de ar e as características e desvios percentuais dos atributos pluviotérmicos e do BHC em relação aos dados médios de 1995/1996 a 2014/2015; (c) a resposta dos valores médios de NDVI dos cultivos situados nos municípios dos transectos A-B e C-D de acordo com as unidades climáticas anuais.

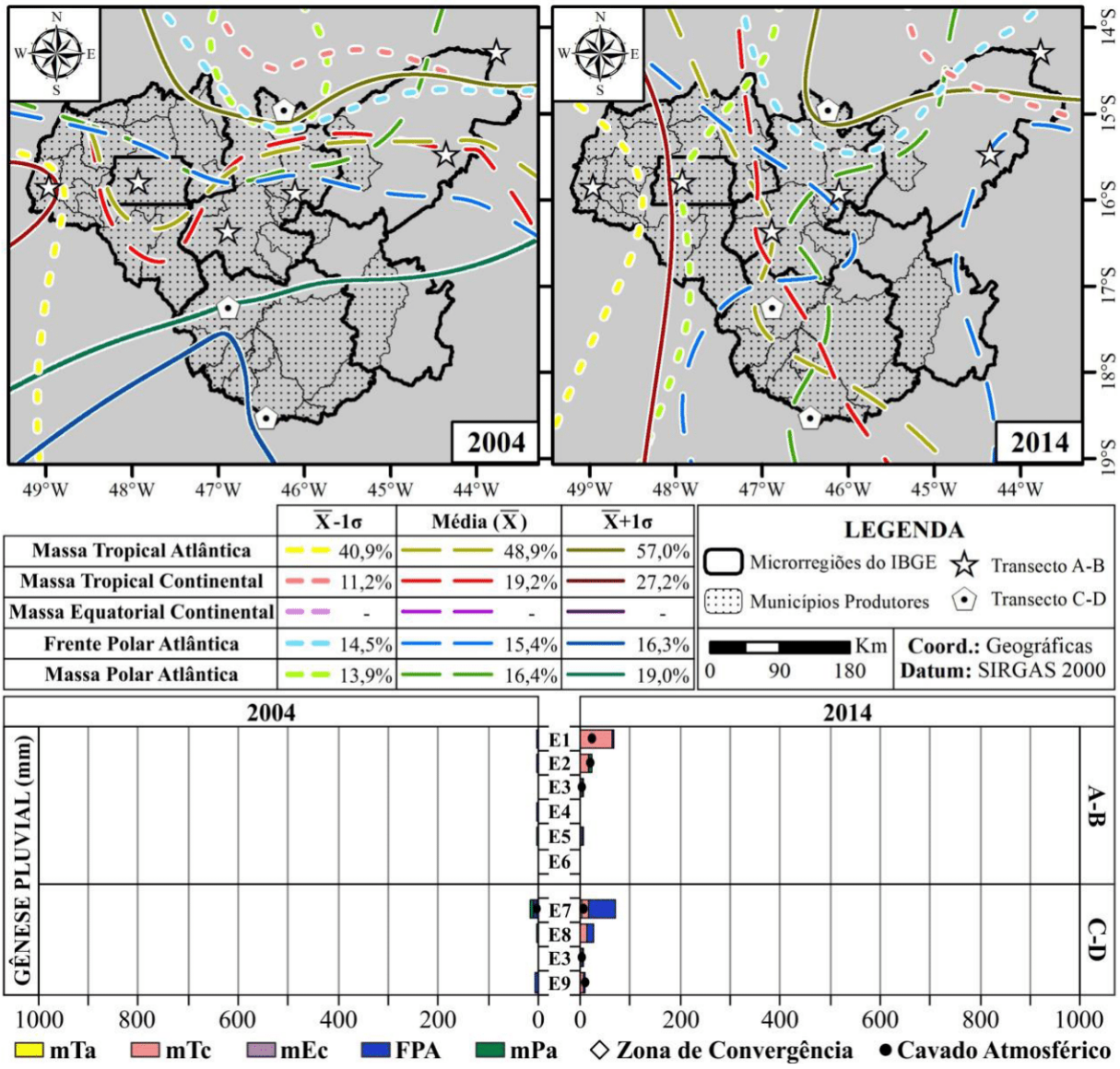
5.6.2 Inverno

O inverno é habitualmente caracterizado na área de estudo pela pouca pluviosidade e pelas menores temperaturas de julho, as quais são contrastantes em relação às altas temperaturas presentes no final de setembro e que corresponde ao ápice do período de estiagem.

As atuações dos sistemas atmosféricos no ano de 2004 apresentam maior ocorrência do avanço dos Sistemas Frontais (SF) e da mPa vindos da porção meridional e da mTa na porção setentrional, além de todos os sistemas atuantes terem sua média de participação concentradas

latitudinalmente no setor centro-norte. Já em 2014 notou-se a menor presença dos sistemas extratropicais e maior participação longitudinal da mTc rumo à leste (Figura 110).

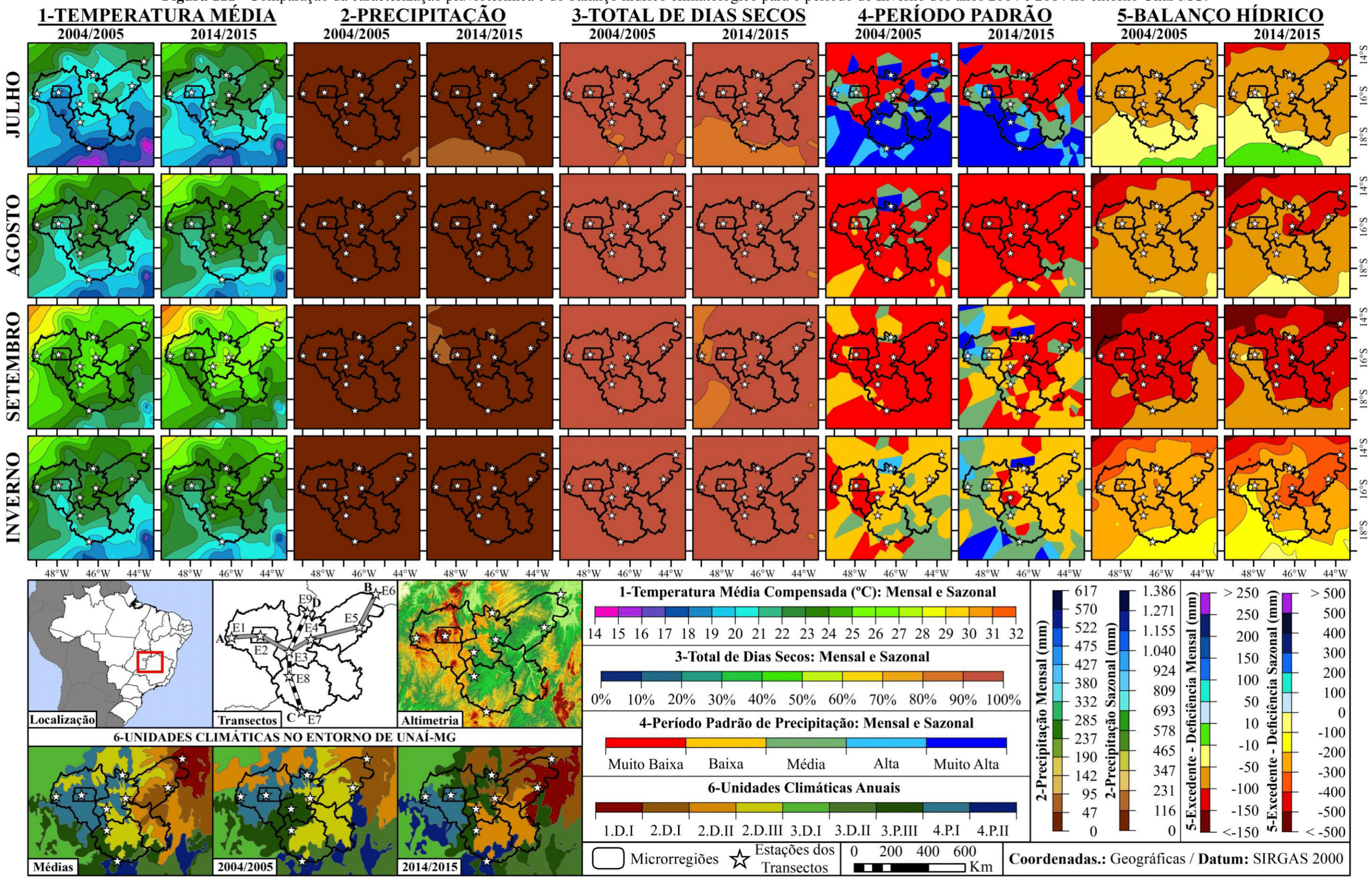
Figura 110 - Índice de participação das massas de ar e suas contribuições para gênese pluvial do período de Inverno dos anos 2004 e 2014 no entorno de Unaí-MG.



Fonte: elaborado pelo autor.

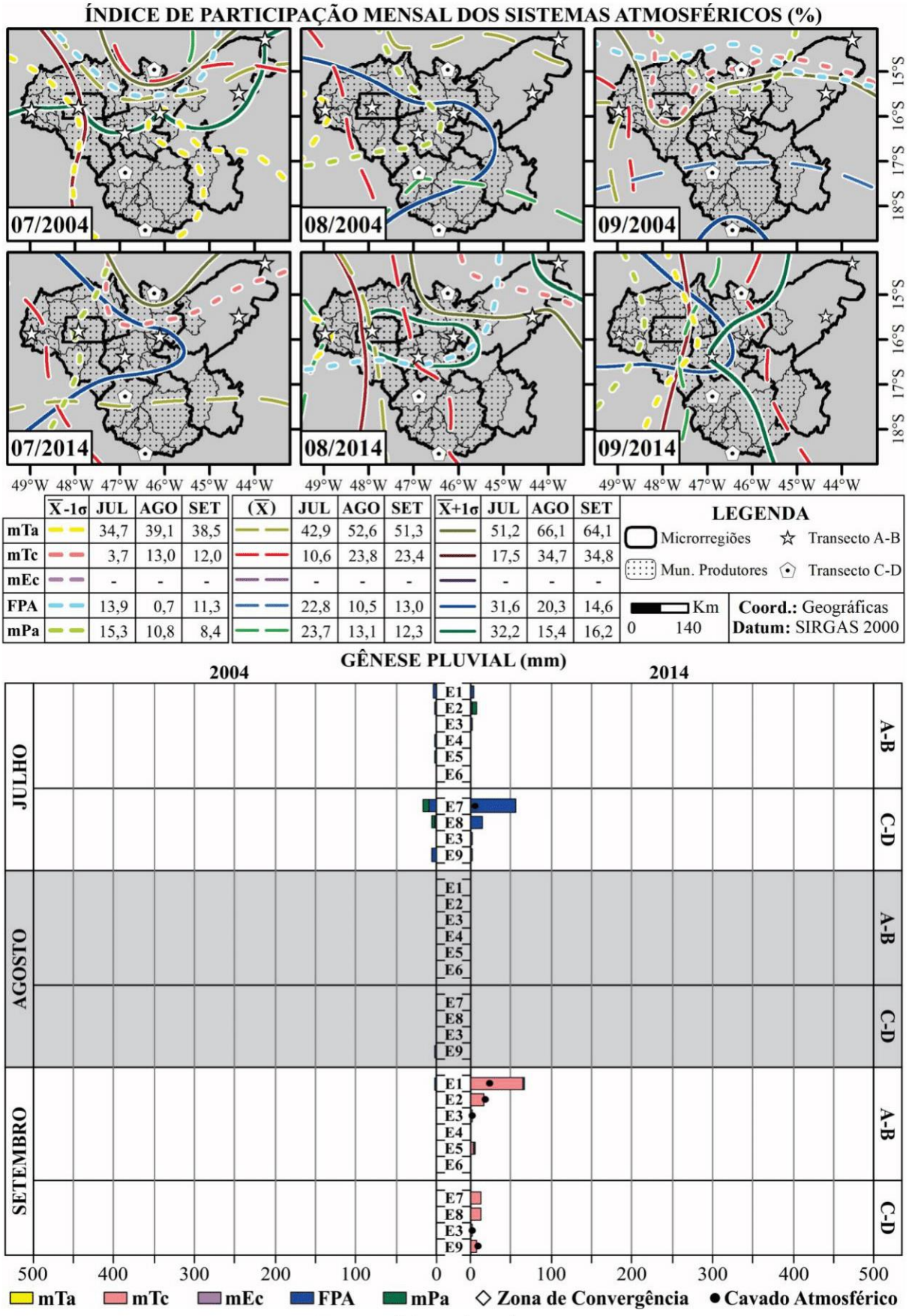
Abaixo serão descritas as principais características climáticas na escala mensal para os dois anos agrícolas, as quais serão analisadas a partir da relação entre as condições pluviotérmicas e do BHC (Figura 111) com a dinâmica atmosférica regional pela participação espacial e temporal das massas de ar e suas contribuições para gênese pluvial durante o período de inverno (Figura 112).

Figura 111 - Comparação da caracterização pluviotérmica e do balanço hídrico climatológico para o período de Inverno dos anos 2004 e 2014 no entorno Unaí-MG.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 112 - Participação dos sistemas atmosféricos nos meses de Inverno dos anos 2004 e 2014 e suas contribuições na gênese pluvial nas estações dos transectos A-B/C-D.



Fonte: elaborado pelo autor.

Julho de 2004

Nesse mês houve a redução das médias de temperaturas máxima (-9,8%), média compensada (-15,3%) e mínima (-23,1%) em relação à média histórica, graças a dois episódios de sistemas extratropicais que influenciaram as latitudes do entorno de Unaí: a primeira foi uma FPA entre os dias 8 e 12, seguido pelo avanço da primeira mPa nos dias 13 e 14, com típicas características higrotérmicas de tropicalização; a segunda foi a influência de outra mPa com núcleo semiestacionário situado no oceano, que conseguiu atuar entre os dias os dias 16 e 24.

Julho é habitualmente caracterizado como um período seco e de pouca pluviosidade, entretanto nesse ano foi considerado muito chuvoso na porção centro sul, com média regional de 6,9mm (desvio de 338,6% em comparação à média dos 20 anos), graças aos quantitativos pluviais proporcionados pela FPA que atuou nos dias 8 a 12. Na ausência da FPA ou da mPa houve a presença da mTa (27,4% a 62,9%) intercalado com mTc (4,8% a 25,8%).

Agosto de 2004

A ausência ou baixa pluviosidade mensal em praticamente toda área de estudo (média de 0,9mm) proporcionou que a primeira semana e a segunda quinzena do mês tivessem temperaturas mais elevadas, as quais acentuaram a DEF (média de 84,7mm) e reduziram a umidade relativa do ar em razão da constante alternância entre a mTc (12,9% a 41,9%) e a mTa (37,1% a 58,1%). Sete SF de rápido deslocamento e fraca intensidade atuaram no País, sendo que dois alcançaram latitudes inferiores a E9-Formoso. O primeiro episódio de FPA ocorreu a partir do dia 7 e entrou em processo de dissipação no dia 10, dando lugar a presença da mPa tropicalizada nos dias 10 e 11, já a segunda FPA começou no dia 29 até foi até final do mês, que em conjunto influenciaram em anomalias negativas das médias de temperatura média compensada (-6,7%) e da mínima (-19,7%) em relação às médias entre 1995/1996 e 2014/2015.

Setembro de 2004

As condições climáticas do final de agosto foram intensificadas no decorrer do mês subsequente, através da baixíssima média regional de pluviosidade (0,3mm) que refletiu na quase totalidade de dias secos no mês. Essas condições resultaram em anomalias positivas das médias de temperatura máxima (8,6%) e média compensada (5,2%) em comparação às médias históricas, que acentuaram a redução da umidade relativa do ar e a intensificação da DEF regional (média de 116,3mm).

As características dos elementos climáticos podem ser explicadas por dois fatores: (1) a oscilação intrassazonal teve importante contribuição na modulação dos padrões de circulação atmosférica no Hemisfério Sul, constatado pelo campo de anomalia de Pressão ao Nível do Mar (PNM) que evidenciou o deslocamento anômalo rumo à oeste do centro de ação do Anticiclone

Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que intensificou o processo de subsidência do ar na porção central do Brasil e resultou na formação de um bloqueio atmosférico que limitou o avanço dos SF; e (2) essas características climáticas, ligadas às escalas superiores da atmosfera, favoreceram a maior presença da mTa (48,3% a 78,3%) que influenciou no aquecimento do ar por compressão mecânica e inibiu o processo de formação de nebulosidade.

Os sistemas extratropicais atuaram de modo heterogêneo nas diferentes latitudes (17,4% a 26,7%) e em três momentos distintos: (1) através da continuação da atuação da FPA no final de agosto com posterior presença da mPa até o dia 3; (2) da incursão de uma FPA no dia 16 que já chegou enfraquecida na área de estudo e entrou em processo de dissipação após dois dias; (3) a repercussão da chegada de uma nova FPA no dia 30. Além das massas de ar já abordadas, destaca-se a atuação heterogênea da mTc (1,7% a 30%).

Julho de 2014

As anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) indicam o início do fenômeno El Niño (EN) no Oceano Pacífico Equatorial que aliado ao Índice de Oscilação Sul (IOS) apontam tendência de acoplamento entre as condições oceânicas e atmosféricas.

O ASAS estava mais ao sul da sua posição climatológica (próximo ao paralelo 50ºS) na primeira metade do mês e limitou o avanço dos SF para menores latitudes. Na segunda quinzena seu núcleo esteve localizado mais ao norte e favoreceu a intensa participação no interior do continente através da mTa. Em comparação ao ano de 2004 percebe-se que sua participação foi mais preponderante na porção centro-sul, com aumento nas áreas localizadas mais à oeste e reduzindo gradativamente sua intensidade rumo à leste e sul (desvios entre 64,7% em E1-Pirenópolis e 3,3 em E6-Carinhanha), com única exceção em E9-Formoso, que teve diminuição de participação (-15,4%). Além disso, houve aumento de episódios da FPA (100% a 133,3%) graças a drástica redução de participação da mTc (desvios de -28,6% em E8-Paracatu a -76,9% em A4-Arinos) e da mPa (-38,1% em E7-Patos de Minas a -75% em E1-Pirenópolis).

Habitualmente o mês de julho possui condições de reduzidos totais pluviais e características de intensa estiagem. Houve redução de -9,9% da precipitação (-0,7mm) e aumento das médias de temperaturas máxima (1,4ºC ou 5,2%), média compensada (1,3ºC ou 6,4%) e mínimas (1,1ºC ou 7,6%) e de DEF (10,6mm) em comparação ao ano de 2004.

Dos seis SF que adentraram o território brasileiro, três deles influenciaram o entorno de Unaí, mais especificamente o segundo (7 a 9), o quarto (19 e 20) e o quinto (25 a 29). Essa última FPA foi intensificada pelo acoplamento de um Cavado Atmosférico (CV) na média e alta troposfera que resultou em precipitações na porção centro-sul nos dias 27 e 28, as quais proporcionaram a essas localidades o padrão pluvial Chuvoso em julho. Também houve a participação de três mPa, a primeira ocorrência (dias 13 a 16) causou queda de todas as

temperaturas, porém, na segunda (dias 20 e 21) e terceira (dias 30 e 31) passagens não houve alterações térmicas significativas, pois já estavam tropicalizadas e em vias de dissipação.

Agosto de 2014

A TSM na região equatorial do Oceano Pacífico apresentou valores mais elevados que no mês anterior e indicam o começo do fenômeno EN de fraca intensidade nos próximos meses.

Ao comparar a diferença de participação dos sistemas atmosféricos nesse mês em relação à 2004 percebe-se que: (1) a segunda e a terceira semanas do mês proporcionaram intensa atuação da mTa em quase todas as estações e ajudou a refletir os desvios positivos entre 33,3% (E7-Patos de Minas) e 131,3% (E4-Arinos); (2) na porção ocidental, representado por E1-Pirenópolis e E2-Brasília, verificou-se elevação substancial da atuação da mTc na primeira e última semanas de agosto, correspondendo, respectivamente, ao aumento de 55% e 137,5%, além da redução gradual do índice de participação nas demais estações situadas à leste e norte; (3) maior atuação da mPa nesse mês proporcionou o acréscimo da participação relativa desse sistema nas microrregiões (28,6% em E5-Januária a 66,7% em E2-Brasília/E3-Unaí).

Dos quatro SF que chegaram ao Brasil, nenhum alcançou as microrregiões, porém duas mPa que atuavam em suas retaguardas (atrelado ao primeiro e o terceiro SF) influenciaram as microrregiões e auxiliaram na redução acentuada das temperaturas na primeira metade de agosto (5 a 9 e 15 a 16). Esses episódios da mPa proporcionaram anomalias negativas para média compensada (-5%) e mínima (-16,4%) em relação à média histórica, porém foram menos intensas que em 2004 (desvios positivos, respectivamente, de 0,8ºC ou 3,8% e 0,9ºC ou 6,1%).

Embora tenha ocorrido a atuação de SF no país, a precipitação em agosto foi nula nas estações dos transectos e a média regional foi de somente 0,2mm (redução de -97,7% em relação à média histórica e 82,2% em comparação ao ano de 2004), com elevação do total de dias secos, aumento de localidades com características pluviais Muito Seco (97,1% do total) e intensificação da DEF nas microrregiões de Januária e nordeste do Entorno de Brasília. Esse fato pode ser explicado pela maior participação de sistemas de alta pressão, tanto pela mPa quanto da mTa (proporcionada pela atuação do ASAS no continente) que resultaram em anomalias positivas de pressão e contribuíram para o mês ser marcado pela baixa pluviometria.

Setembro de 2014

Esse período é normalmente caracterizado pela baixíssima pluviosidade, porém os desvios negativos verificados estiveram vinculados a três fenômenos que atuaram de forma conjunta e influenciaram as microrregiões: (1) as condições da variabilidade intrassazonal; (2) o intenso escoamento anômalo de sudeste pela atuação do ASAS; e (3) a influência da estruturação do fenômeno EN na região equatorial do Oceano Pacífico. A média regional de

9,9mm de chuvas representa volume 67,8% abaixo da média histórica, porém 9,6mm (3.005,5%) mais chuvoso que o ano de 2004 para o mesmo período. A DEF (média de 118,1mm) foi muito intensa em praticamente todas as microrregiões, com exceção da porção sudoeste do Entorno de Brasília e extremo sul de Paracatu que apresentaram menos severidade.

Mesmo com as anomalias positivas de áreas de alta pressão no interior do continente em comparação às condições climatológicas normais para área de estudo, proporcionada pelo deslocamento para oeste da borda ocidental do ASAS, houve redução percentual de atuação da mTa de forma contundente nesse mês em relação ao ano de 2004, variando entre -55,4% em E2-Brasília a -22,2% em E5-Januária no transecto A-B e -28,6% em E9-Formoso e -6,5% em E8-Paracatu para o transecto C-D. Sua participação esteve concentrada na segunda semana do mês e provocou condições de tempo muito seco e com valores de umidade relativa do ar abaixo de 30% em quase todas as localidades.

A redução da participação da mTa proporcionou maior condição de penetração da mTc em todas as microrregiões, sobretudo nos primeiros cinco dias do mês e no meio da segunda quinzena, ao atuar com maior preponderância à oeste e sul e reduzindo sua contribuição rumo à leste e norte.

Dos nove SF que passaram pelo país, três atuaram nas microrregiões (entre 13,3% e 16,7% de todo mês), especificamente o segundo (que alinhou-se com áreas de instabilidade oriundas formação de CV na média e alta troposfera e propiciou chuvas no dia 4 nos setores oeste e sul), o quinto (15 a 17) e o sexto (21 a 23). A mPa participou em três ocasiões, nos dias 5 a 7, 18 a 20, além de 23 e 24, que auxiliaram na queda dos valores médios de temperatura do ar no mês, com maior destaque para a primeira incursão desse sistema extratropical. Mas as participações da FPA e da mPa em setembro não evitaram os desvios positivos das médias das temperaturas máxima (8,3%), média compensada (6,5%) e mínima (0,8%) em comparação à média histórica e em relação ao mesmo período de 2004 (respectivamente, de 1,2% [0,4ºC], 3,2% [0,8ºC] e 9,5% [1,6ºC]).

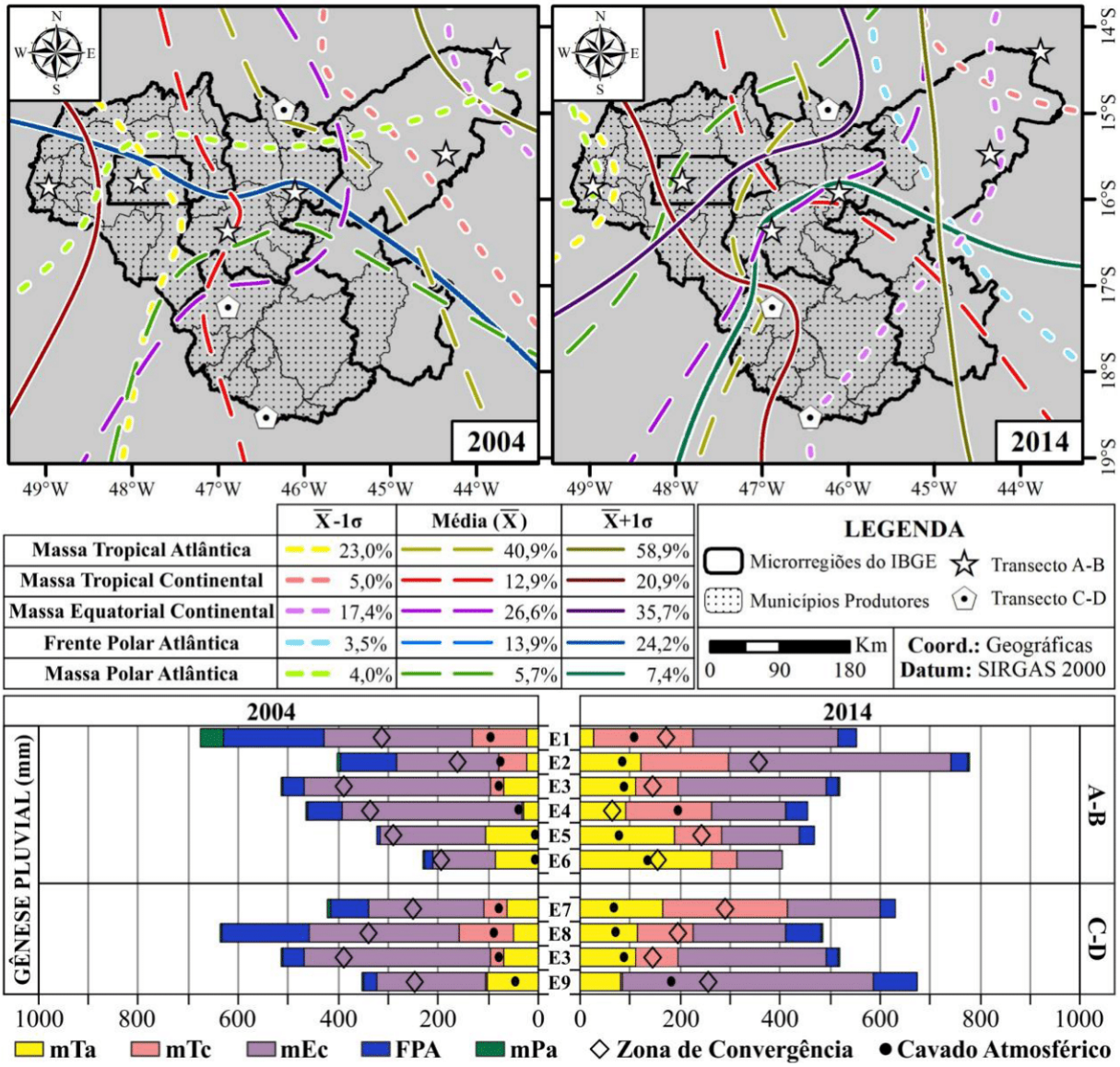
5.6.3 Primavera

A primavera possui como principal característica ser o período de transição da sazonalidade climática, através do término da estação seca e início da estação chuvosa, além de possuir as maiores temperaturas médias registradas no mês de outubro para todas as estações dos transectos A-B e C-D.

Em 2004 houve maior participação percentual de SF para áreas de menor latitude da porção central e também o início da ocorrência da mEc. O ano de 2014 teve como principal aspecto o aumento relativo da mEc para as localidades situadas mais à oeste e norte, da mTc à

oeste e sul e a expansão da mTa no sentido ocidental, além do acréscimo proporcional da mPa para áreas mais ao norte e a considerável redução da FPA em toda área de estudo. Os totais pluviométricos foram mais elevados em 2014, com maior contribuição da mTa na gênese pluvial, em comparação ao ano de 2004 (Figura 113).

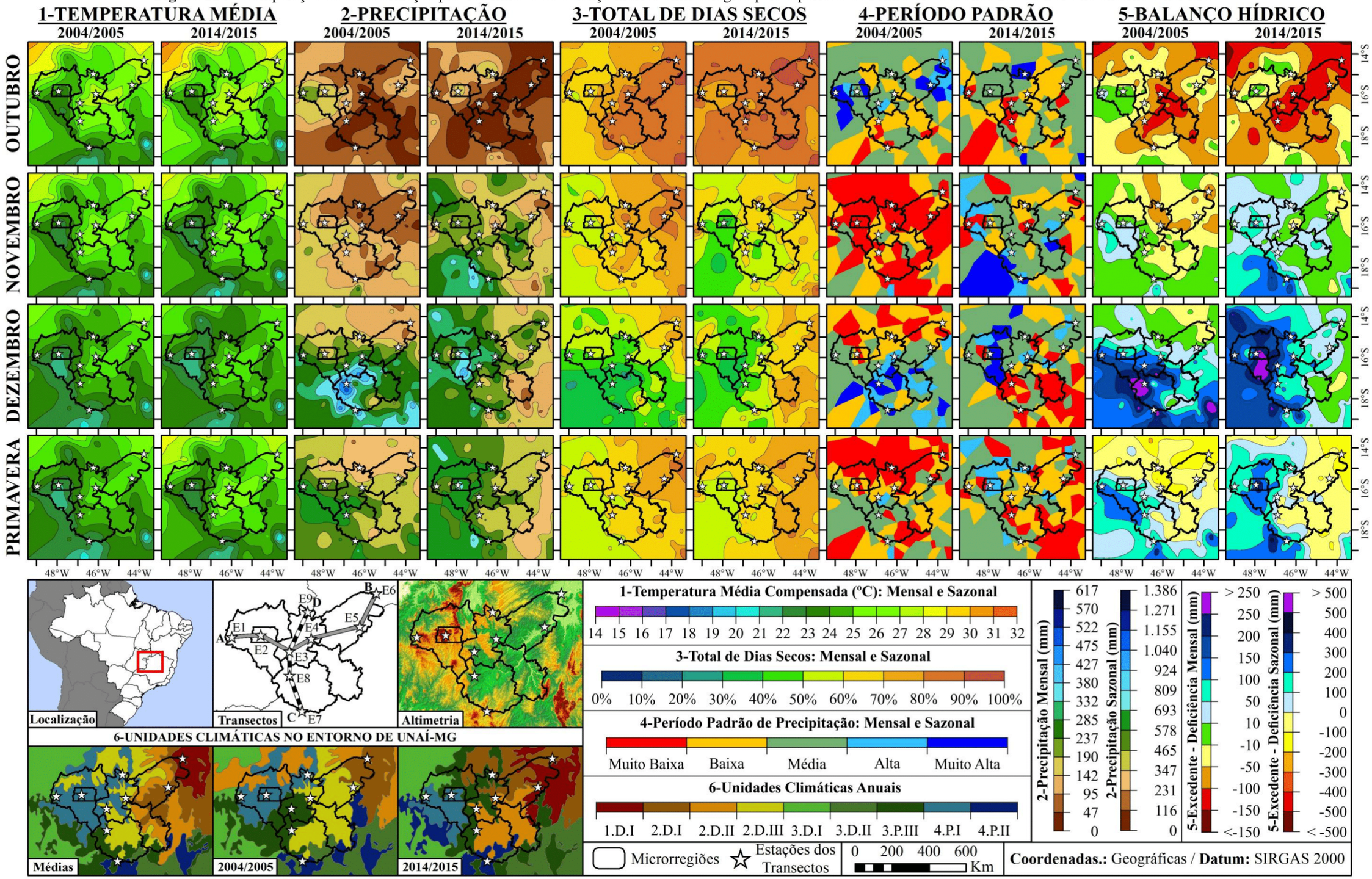
Figura 113 - Índice de participação das massas de ar e suas contribuições para gênese pluvial do período de Primavera dos anos 2004 e 2014 no entorno de Unaí-MG.



Fonte: elaborado pelo autor.

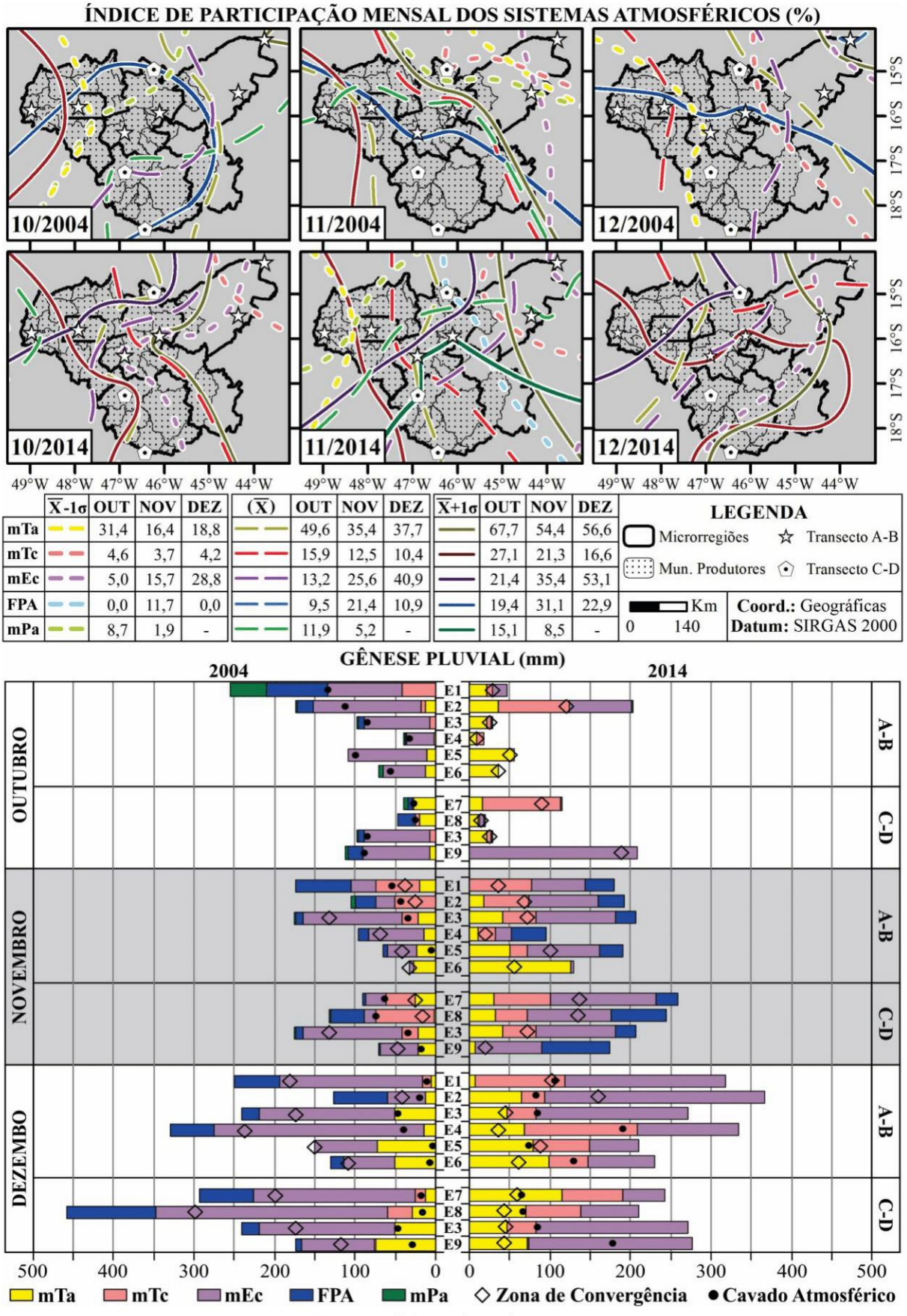
A espacialização dos elementos climáticos, resumidos pelas características de temperatura do ar, pluviosidade e BHC (Figura 114), com a contribuição percentual e os totais precipitados por cada massa de ar no período de Primavera na escala mensal (Figura 115) possibilitam correlacionar os aspectos dinâmicos do clima, vinculados às escalas superiores, com a manifestação dos seus atributos em superfície.

Figura 114 - Comparação da caracterização pluviotérmica e do balanço hídrico climatológico para o período de Primavera dos anos 2004 e 2014 no entorno Unaí-MG.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 115 - Participação dos sistemas atmosféricos nos meses de Primavera dos anos 2004 e 2014 e suas contribuições na gênese pluvial nas estações dos transectos A-B/C-D



	$\overline{X}$-1σ	OUT	NOV	DEZ	($\overline{X}$)	OUT	NOV	DEZ	$\overline{X}$+1σ	OUT	NOV	DEZ
mTa		31,4	16,4	18,8		49,6	35,4	37,7		67,7	54,4	56,6
mTc		4,6	3,7	4,2		15,9	12,5	10,4		27,1	21,3	16,6
mEc		5,0	15,7	28,8		13,2	25,6	40,9		21,4	35,4	53,1
FPA		0,0	11,7	0,0		9,5	21,4	10,9		19,4	31,1	22,9
mPa		8,7	1,9	-		11,9	5,2	-		15,1	8,5	-

Fonte: elaborado pelo autor.

Outubro de 2004

Nesse mês houve o início da fase quente do fenômeno ENOS em todas as três regiões monitoradas do Oceano Pacífico Equatorial (El Niño 3, 3.4 e 4), determinado pelos desvios positivos das médias de TSM pelo quarto mês seguido.

A média regional da pluviosidade foi de 79mm, que correspondeu à anomalia de -8,5% em comparação à média histórica. Os maiores volumes pluviais ocorreram na porção oeste da microrregião do Entorno de Brasília e estiveram atrelados, sobretudo, pelas contribuições da mEc e da FPA que proporcionaram o padrão pluvial Chuvoso e Muito Chuvoso e resultaram nos primeiros volumes EXC nessas localidades (média regional de 18,9mm). Nas demais áreas a mEc foi a massa de ar mais importante na gênese pluvial, porém a espacialização das classes de intensidade dos acumulados precipitados não possibilitou identificar um nítido padrão regional, quando as classes Seco (30,4%) e Habitual (46,8%) foram as mais recorrentes.

Os desvios das médias de temperatura em relação à média dos 20 anos (8,2% para máxima, 9,3% para média compensada e 10,3% para mínima) e os totais pluviais propiciaram DEF regional, porém os valores médios (74,4mm) foram menores que setembro.

Dos seis SF que ocorreram no Brasil, quatro alcançaram as latitudes próximas à Unaí, com: a chegada da primeira FPA no dia 1 que influenciou as microrregiões somente com suas características de repercussão; a segunda FPA veio na sequência da anterior e atuou com maior intensidade nos dias 3 a 5 e logo entrou em processo de frontólise no dia 6; a terceira ocorreu nos dias 11 a 13. Os processos convectivos foram mais acentuados a partir da segunda quinzena, constatados pelas anomalias negativas de Radiação de Ondas Longas (ROL) em razão do acoplamento dos SF com CV na porção central do Brasil, e geraram intensa nebulosidade regional, tendo: a primeira ocorrência no dia 15, associada a presença da mTa; o segundo episódio entre os dias 18 e 20, através da atuação da mTc na porção centro-oeste e da mTa nos setores leste e sul; e a terceiro e mais importante teve origem na repercussão da FPA nos dias 23 e 24 e posterior atuação do CV entre os dias 25 e 29, quando houve escoamento de ventos úmidos vindos do quadrante oeste (mEc) que proporcionaram situações de instabilidade atmosférica devido ao processo de ciclogênese que atuava no setor sul do Oceano Atlântico, os quais foram os principais mecanismos geradores de chuvas no mês.

Destaca-se que a mTa não conseguiu atuar por mais de dois dias seguidos no setor meso-ocidental, entre E1-Pirenópolis a E3-Unaí, sendo constantemente intercalada pela presença da mTc, FPA, mPa e da mEc (primeira ocorrência do ano agrícola no dia 10).

Novembro de 2004

Os valores médios de anomalia da TSM para região Niño 3.4, a qual serve como principal referência para o estabelecimento do fenômeno ENOS, foram os mesmos em relação

a outubro (0,8ºC). Essa situação se repete pelo quinto mês consecutivo e mantém os prognósticos de EN de fraca intensidade para o ano agrícola 2004/2005.

A pluviosidade média regional (109,3mm) apresentou redução de -48,4% em comparação à média registrada para novembro nos últimos 20 anos, o que acabou refletindo no aumento médio de 24,8% de dias secos e influenciou a ocorrência dos padrões de intensidade das chuvas Muito Seco (63,8%) e Seco (30,4%) em praticamente todas as localidades analisadas. A intensa anomalia negativa da precipitação repercutiu no aumento médio da temperatura do ar (3,8% para máxima, 6,8% para média compensada e 11,6% para mínima), que em seu conjunto proporcionaram DEF (média regional de 33,4mm) em todas as microrregiões, especificamente ao norte do Entorno de Brasília, centro-norte de Unaí, centro-leste de Paracatu, sul de Pirapora e toda Januária, exceto pelos 40,3mm médios de EXC na porção sudoeste da microrregião do Entorno de Brasília.

Todos os quatro SF que atuaram no país em novembro influenciaram diretamente ou indiretamente as microrregiões, ao favorecerem a atividade convectiva, mas, porém, proporcionaram baixos acumulados pluviométricos no mês. As FPA ocorreram da seguinte forma: a primeira chegou no dia 4 e entrou em dissipação no dia 9; a segunda esteve presente nos dias 12 a 14 e foi posteriormente acoplada por um CV entre os dias 15 e 17, quando favoreceu os maiores volumes precipitados no mês; a terceira iniciou sua repercussão no dia 17 e logo formou a primeira da Zona de Convergência (ZC) do período chuvoso 2004/2005, ao atuar entre os dias 18 e 23; e o avanço da segunda ZC nos dias 28 a 30 perdurou até o início de dezembro. É importante destacar que os episódios de ZC e de CV foram considerados de fraca intensidade e estiveram associados, principalmente, ao escoamento dos ventos de oeste, os quais estão vinculados, respectivamente, a maior participação da mEc e da mTc. Por fim, cabe ressaltar que os baixos quantitativos pluviais que acometeram quase todas as microrregiões estiveram ligados à maior contribuição da ZC (75,1% em E3-Unaí a 100% em E6-Carinhanha) na porção centro-leste e da FPA, ZC e CV em E1-Pirenópolis (respectivamente, 39,9%, 29,4% e 21,1%) e E2-Brasília (respectivamente 24,9%, 39% e 23,3%) no setor oeste.

Nos demais dias do mês, sem a influência dos sistemas extratropicais, houve a intercalação da mTa e da mTc, sobretudo nos dias 1 a 4, 10 e 11, e 24 a 26, quando prevaleceu condições de tempo quente e com baixa ou total ausência de pluviosidade.

Dezembro de 2004

Houve a manutenção das anomalias positivas de TSM na faixa Equatorial do Oceano Pacífico, principalmente na longitude 180º que apresentou valores médios próximos de 1,5ºC.

Nesse mês o desvio médio da pluviosidade em relação aos dados históricos foi de -5,1%, o que corresponde à média regional de 246,1mm. Os maiores volumes pluviométricos estiveram

concentrados no setor meso-meridional, especialmente nas microrregiões de Paracatu e sul de Unaí, enquanto que a porção norte possuiu totais acumulados de chuva relacionados às condições de padrão pluvial Seco e Muito Seco. As anomalias das médias térmicas nas microrregiões foram de redução de -3,5% para máxima e aumento de 2,6% para média compensada e, principalmente, 8,5% para mínima em comparação às médias dos 20 anos. As condições pluviotérmicas possibilitaram a ocorrência de EXC em praticamente todas as microrregiões (média regional de 126,7mm), com destaque para maior concentração à oeste de Paracatu, exceto o extremo nordeste de Januária que apresentou DEF (média de 29,9mm).

A soma da participação dos episódios de ZC e CV ficou entre 58,1% à leste e 59,7% nas demais localidades, as quais estiveram relacionadas a maior proporção de ocorrências da mEc na porção centro-oeste (de 51,6% a 41,9%) e da mTa no setor oriental (45,2% a 64,5%). Nesse mês também houve maior presença da FPA na porção ocidental (29% a 24,2%) e com gradual redução rumo ao norte (12,9% em E9-Formoso) e leste (11,3% em Carinhanha), onde também houve maior contribuição da mTa nesse período.

O aumento regional dos totais pluviais em comparação às condições presentes em novembro esteve atrelado, especialmente, pela incursão de três SF e a atuação da ZC em três momentos. Inicialmente houve a continuidade da ZC do final de novembro e que perdurou até o dia 3 de dezembro. Outras duas FPA chegaram nos dias 8 e 19, ambas com características semi-estacionárias sobre as Regiões Sudeste e Centro-Oeste, que possibilitaram a formação de outras duas ZC, a primeira de 10 a 15 e a segunda de 21 a 25. Outro subsistema importante nesse mês foi a presença de dois CV que atuaram após a passagem das ZC e que propiciaram os maiores totais pluviométricos do mês nos dias e 3 a 5 e 16 a 17.

Cabe ressaltar que mesmo com a participação da ZC em mais de 40% do mês houve a atuação anômala dos Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN) na porção setentrional das microrregiões de Brasília, Entorno de Brasília, Unaí e Januária, o qual contribuiu diretamente para os desvios negativos da pluviosidade em razão das suas características de circulação anticiclônica dos ventos proporcionarem a inibição da formação de nebulosidade pelo processo de subsidência do ar nos estratos superiores da atmosfera em direção à superfície.

Outubro de 2014

Os valores de TSM nos estratos superficiais e subsuperficiais indicam aquecimento no setor do Pacífico Equatorial, com anomalias que variaram entre 0,5°C e 2°C.

Nesse mês ocorreram cinco SF no território brasileiro, com três deles possuindo percurso litorâneo e somente dois alcançando as menores latitudes com capacidade de influenciar direta ou indiretamente a área de estudo. A atuação dos sistemas extratropicais pode ser resumido da seguinte maneira: (1) a primeira FPA não alcançou o sul da microrregião de

Paracatu, porém trouxe em sua retaguarda o único episódio de mPa a atuar nas microrregiões (11,3% a 14,5% de participação mensal) ao proporcionar a redução das temperaturas na primeira semana; (2) a quarta FPA agiu de forma direta ao formar o primeiro episódio de ZC do ano agrícola 2014/2015, entre os dias 21 e 23, quando houve intenso escoamento de ventos de leste pela modulação da mTa mas que resultou e baixa precipitação, sendo prontamente sucedido por um vórtice ciclônico sobre o Oceano Atlântico que desencadeou outra ZC com duração até o dia 30.

Na segunda e terceiras semanas do mês foram verificadas anomalias positivas nos campos de pressão no interior do Brasil devido ao desenvolvimento de um bloqueio atmosférico que atuou em grande parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste, fruto da formação de uma crista na média troposfera que esteve associada a presença intensa do ASAS no interior do continente. Esse fenômeno barrou o avanço das FPA e proporcionou a ausência de episódios de precipitação e aumento das temperaturas (desvios positivos de 8,5% para máxima, 8,4% da média compensada e 6,4% para mínima em relação à média histórica). Nesse período a mTa foi o sistema mais atuante e contribuiu para os maiores índices de participação mensal (40,3% em E2-Brasília a 83,9% em E6-Carinhanha), enquanto que a mTc teve maior atuação na porção oeste, verificada pela sua maior presença em E1-Pirenópolis (33,9% do tempo) e reduzindo gradativamente sua influência até E5-Januária (4,8%).

As duas ZC atuaram em um terço do mês e propiciaram chuvas mais acentuadas ao estarem associadas ao escoamento de umidade vindo de oeste, com maior intensidade nas microrregiões de Brasília e no setor oeste do Entorno de Brasília, e foram responsáveis por mais de 60% da pluviosidade acumulada no mês nas estações dos transectos A-B e C-D.

O escoamento dos ventos originados no quadrante leste para os episódios de ZC proporcionaram dias muito quentes e sem presença de precipitação, os quais contribuíram para que a média regional da pluviosidade acumulada no mês fosse 33% abaixo da média histórica dos 20 anos e 23,6% inferior à média para outubro de 2004, que refletiram no total de localidades com características Muito Seca (11,6%) e Secas (34,8%) ao representarem quase metade das estações analisadas. Com isso, a DEF (média regional de 94,1mm) prevaleceu em todas as microrregiões com diferentes níveis de intensidade, com maior severidade nas áreas de menor altitude da depressão da bacia do Rio São e com menor magnitude nos setores de maior altitude das microrregiões de Brasília e Entorno de Brasília.

Novembro de 2014

O valor negativo do IOS no setor do Niño 3 e o aquecimento oriental da TSM na região Equatorial do Pacífico indicam a continuidade do acoplamento entre as condições oceânicas e atmosféricas do fenômeno EN de fraca intensidade.

O início da estação chuvosa do ano agrícola 2014/2015 começou a ser estabelecido pelos totais pluviométricos precipitados em novembro, fruto do aumento da baroclinidade nos setores centro-sul do Brasil que favoreceu a dissolução do bloqueio atmosférico verificado em grande parte do mês de outubro.

A primeira semana teve intensa participação da mTa no setor meso-oriental, enquanto que em E1-Pirenópolis e E2-Brasília houve maior contribuição dos sistemas de origem continental (mEc e mTc).

Os seis SF que passaram pelo país atuaram a partir da segunda semana do mês na área de estudo e influenciaram de modo heterogêneo todas as microrregiões. Suas contribuições para gênese pluvial podem ser sintetizadas pela atuação conjunta da FPA e da ZC que somadas representaram entre 40,3% (E1-Pirenópolis) e 83,1% (E8-Paracatu) do tempo total de participação nas localidades dos transectos A-B e C-D.

A presença de cada FPA e suas influências na formação das ZC, todas de fraca intensidade, ocorreram da seguinte forma: (1) o primeiro episódio da FPA nos dias 8 e 9 resultou na formação da primeira ZC do mês (10 a 12), graças a intensificação da circulação ascendente em 500 hPa e a maior divergência horizontal dos ventos em 220 hPa que favoreceram o deslocamento da ZC mais ao norte da sua posição climatológica; (2) a segunda ZC ocorreu entre os dias 14 e 17 e trouxe em sua retaguarda a mPa com características de tropicalização que influenciou as microrregiões nos dias 17 a 19; (3) a dissipação da mPa permitiu a presença da mTa entre os dias 19 e 22 até a chegada da segunda FPA que ocorreu nos dias 22 a 24; e, por fim, (4) a terceira ZC de 27 a 30.

Mesmo com a presença de três episódios de ZC, a pluviosidade média regional (196,1mm) foi 7,6% menor que a média entre 1995/1996 e 2014/2015 e resultou no aumento médio de 8,6% de dias secos em comparação ao mesmo período, porém a média pluvial em 2014 foi 79,4% superior à média de 2004. As médias das temperaturas apontam anomalias positivas em relação aos dados históricos, na ordem de 0,9% para máxima, 3,8% para média compensada e 9,4% para as mínimas. As características pluviotérmicas possibilitaram o estabelecimento dos primeiros volumes de EXC do ano agrícola (média regional de 53,9mm), principalmente na porção centro-oeste, porém, em E4-Arinos e no extremo nordeste de Januária ainda prevaleceu a DEF (média de -27,5mm). Além da contribuição da FPA nos totais pluviométricos precipitados nas estações dos transectos, merece destaque o reforço da mTa, mTc e mEc (sem estarem vinculadas à ZC) na gênese pluvial para toda área de estudo.

Dezembro de 2014

O aquecimento da TSM no setor Niño 3 do Pacífico Equatorial e os valores negativos de IOS pelo sexto mês consecutivo evidenciam a ocorrência do EM de fraca intensidade.

A consolidação da estação chuvosa possibilitou a normalização da distribuição espacial das chuvas, identificado pelo predomínio do padrão pluvial Habitual (43,5%). Contudo, a média regional de pluviosidade foi de 219,6mm e representou redução de -12,6% do volume precipitado e aumento de 11,6% de dias secos em comparação à média histórica, além de significar a diminuição de 10,8% da média acumulada de chuvas e o acréscimo de 20,4% de dias secos em relação às condições de 2004. As anomalias negativas das médias regionais de chuva foram identificadas pelo aumento dos padrões pluviais Seco (18,8%) e Muito Seco (23,2%), com destaque para as microrregiões de Pirapora, setor centro-oeste de Paracatu e porção sudoeste de Januária que apresentaram baixos totais pluviais em relação à média dos 20 anos. Em contraposição, os padrões Chuvoso (8,7%) e Muito Chuvoso (5,8%) ficaram concentrados à leste das microrregiões de Brasília e Entorno de Brasília. As anomalias das médias de temperatura apontam redução das máximas (-3,5%) e aumento das mínimas (6,9%).

Dos cinco SF atuantes no Brasil, nenhum influenciou diretamente as microrregiões, porém, dois deles receberam o suporte de vórtices ciclônicos situados no Oceano Atlântico que subsidiaram a organização espacial das massas de ar na escala regional e proporcionaram que a mEc (setor ocidental) e a mTa (porção oriental) auxiliassem na formação de dois fracos episódios de ZC (dias 14 a 17 e 23 a 25), além do estabelecimento de três CV (30/11 a 02/12, 6 a 8 e 19 a 21). Essa associação entre os sistemas e subsistemas atmosféricos contribuíram em conjunto na gênese pluvial regional, ao participarem entre 46,6% (E3-Unaí) e 81,9% (E9-Carinhanha) dos totais acumulados nos transectos. Os demais volumes percentuais acumulados estiveram relacionados a episódios de instabilidade atmosférica no interior da mEc e da mTc, enquanto que a mTa possuiu menores volumes precipitados em razão de apresentar recorrência de situações de estabilidade atmosférica.

A partir da última semana do mês foi estruturado nas latitudes médias do Oceano Atlântico do Sul um bloqueio atmosférico de circulação anticiclônica com forte influência no interior do continente, oriundo das anomalias positivas de pressão do ASAS que expandiu sua presença na porção ocidental da Região Sudeste e oriental da Região Centro-Oeste do país. Essa situação anômala limitou o avanço das FPA rumo às baixas latitudes e reduziu os maiores volumes precipitados no interior do continente pela impossibilidade de formação de ZC.

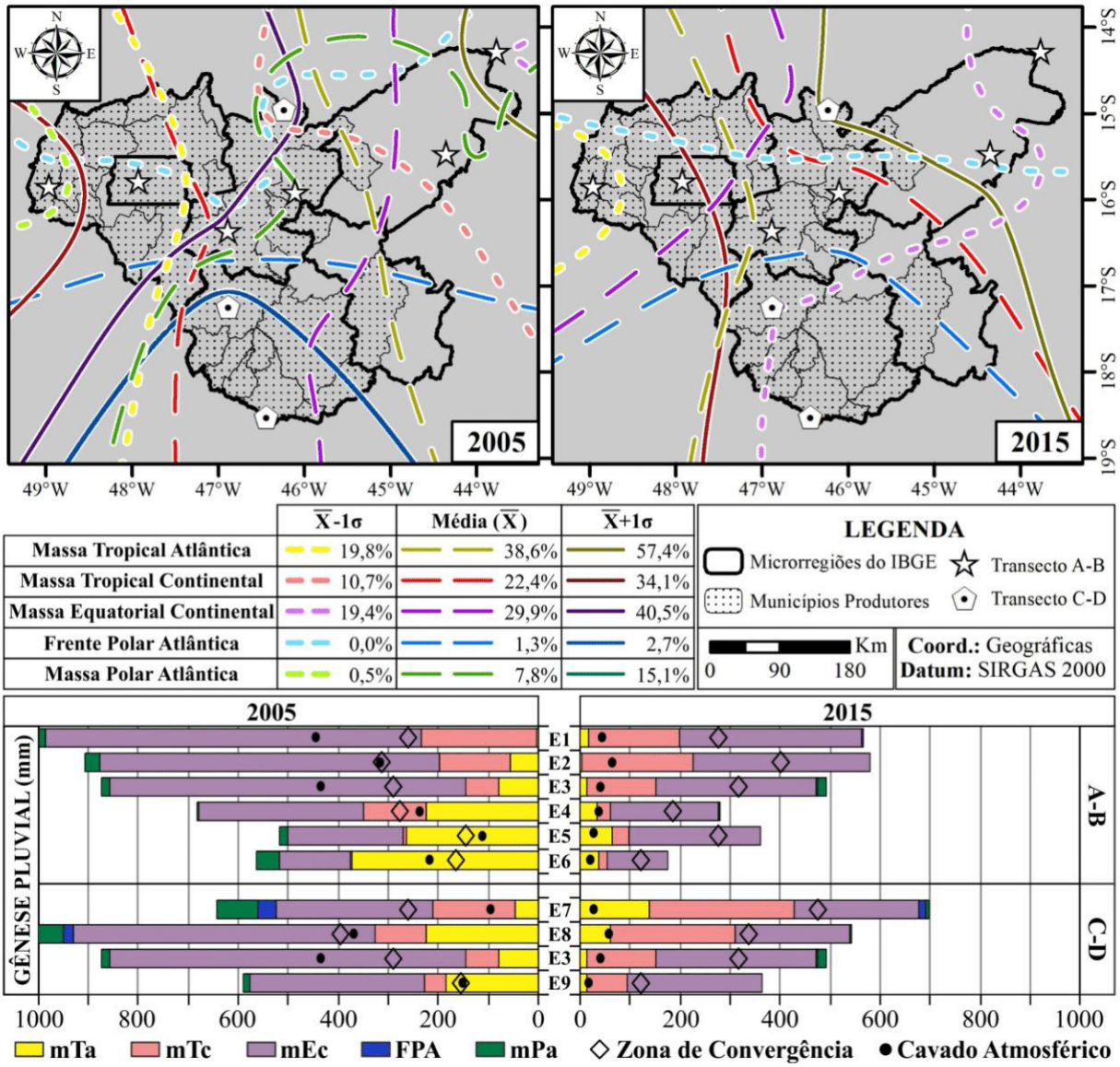
5.6.4 Verão

Os meses de Verão correspondem ao período de maiores volumes de precipitação acumulada e de EXC de água no solo nas microrregiões, sendo cruciais para produção agrícola.

Em 2005 (alta produtividade) houve maior presença de sistemas extratropicais (mPa e FPA) ao sul e importante avanço da mEc à oeste, especificamente com a sua presença média situada nas microrregiões de Paracatu, Pirapora e Januária e da isolinha com o desvio superior

em Unaí, enquanto que a média da mTc esteve próxima ao limite oeste de Unaí e da mTa à leste da mesma microrregião. A configuração das isolinhas em 2015 (baixa produtividade) foi muito diferente em relação à 2005, com drástico recuo para oeste da média da mEc (microrregiões de Brasília e Entorno de Brasília) e os prolongamentos das médias da mTa para setor ocidental (divisa entre Unaí e Brasília) e da mTc para a porção oriental (próxima à divisa entre Januária e Pirapora). Os totais pluviais dos transectos foram muito menores no ano de 2015 (Figura 116).

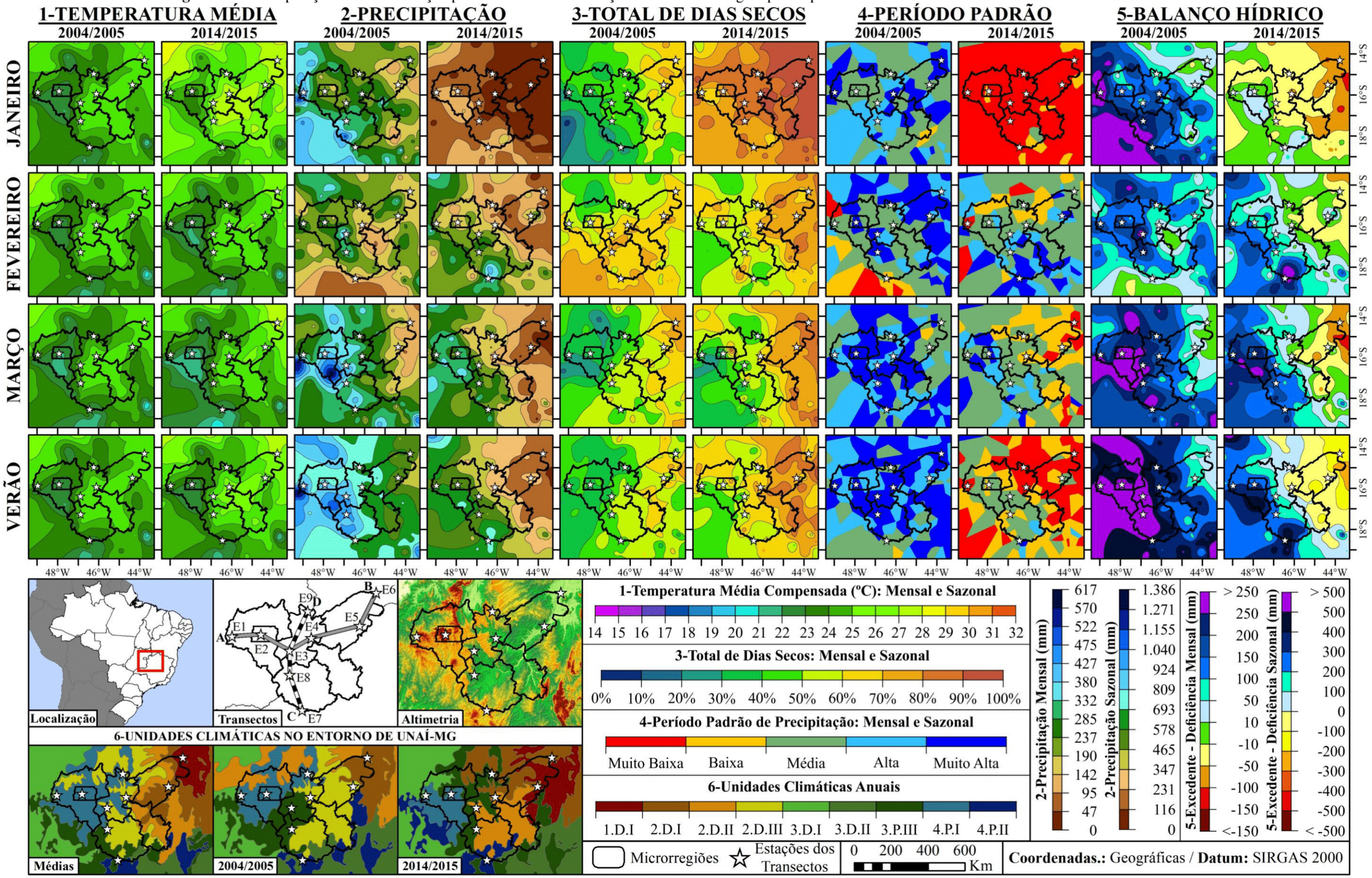
Figura 116 - Índice de participação das massas de ar e suas contribuições para gênese pluvial do período de Verão dos anos 2005 e 2015 no entorno de Unaí-MG.



Fonte: elaborado pelo autor.

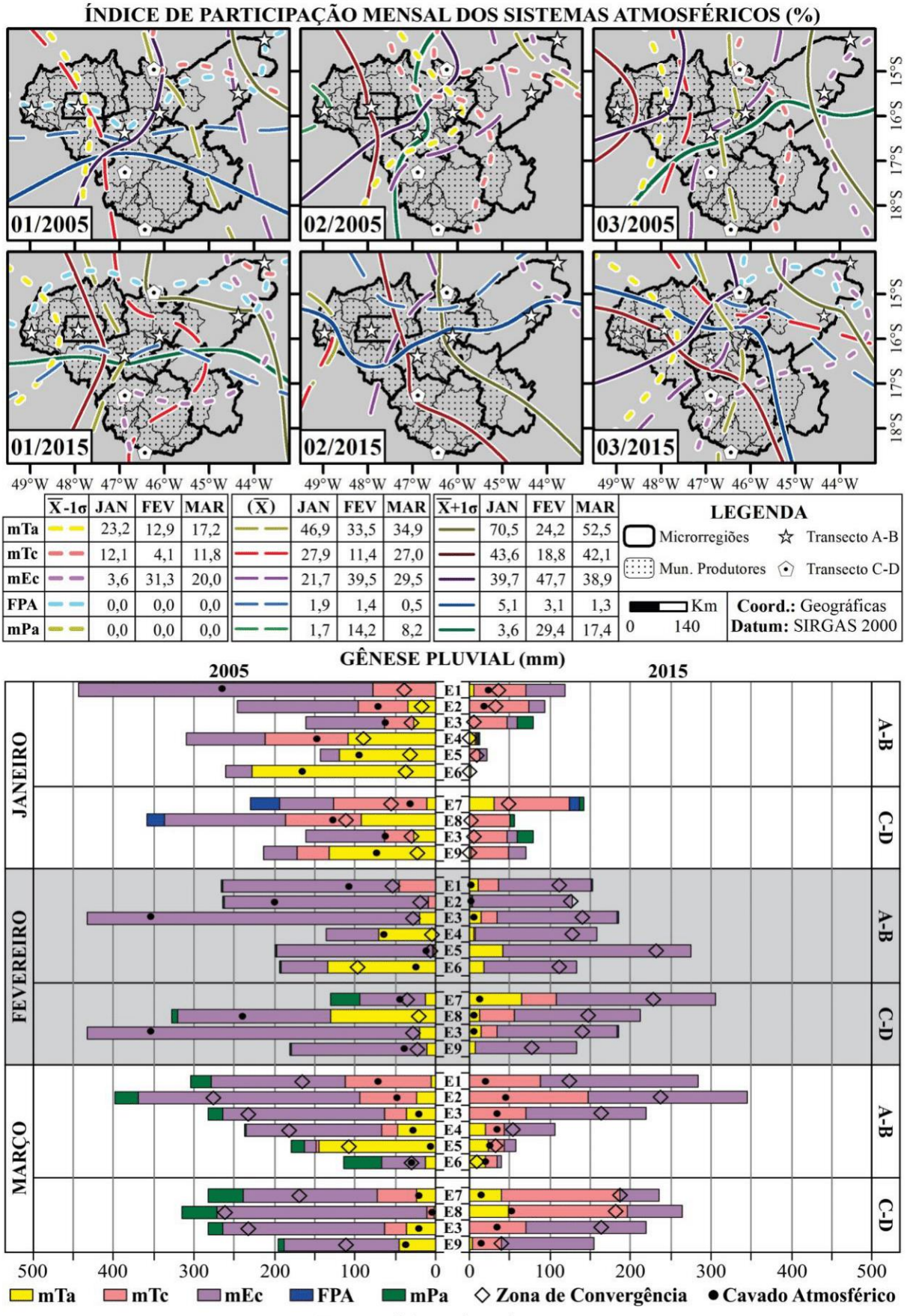
A análise combinada das condições dos elementos pluviotérmicos (Figura 117) e as diferenças ligadas aos índices de participação das massas de ar, com suas respectivas abrangências espaciais e contribuições na gênese pluvial (Figura 118) para os dois anos em tela, poderá explicar a relação entre as variações de produtividade e a gênese climática regional.

Figura 117 - Comparação da caracterização pluviotérmica e do balanço hídrico climatológico para o período de Verão dos anos 2005 e 2015 no entorno Unaí-MG.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 118 - Participação dos sistemas atmosféricos nos meses de Verão dos anos 2005 e 2015 e suas contribuições na gênese pluvial nas estações dos transectos A-B/C-D



	X̄-1σ JAN	FEV	MAR	(X̄) JAN	FEV	MAR	X̄+1σ JAN	FEV	MAR
mTa	23,2	12,9	17,2	46,9	33,5	34,9	70,5	24,2	52,5
mTc	12,1	4,1	11,8	27,9	11,4	27,0	43,6	18,8	42,1
mEc	3,6	31,3	20,0	21,7	39,5	29,5	39,7	47,7	38,9
FPA	0,0	0,0	0,0	1,9	1,4	0,5	5,1	3,1	1,3
mPa	0,0	0,0	0,0	1,7	14,2	8,2	3,6	29,4	17,4

Fonte: elaborado pelo autor.

Janeiro de 2005

A TSM na porção leste da região Equatorial do Oceano Pacífico apresentou redução das anomalias positivas, enquanto que na longitude 180º esses desvios médios ficaram entre 0,5ºC e 2,0ºC e nas regiões 3 e 4 ocorreu a manutenção das anomalias positivas dos últimos dois meses. Essa configuração da TSM reforça o estabelecimento de um episódio fraco de EN.

Nesse mês houve o aumento de 33% da pluviosidade regional (média de 254,3mm) e a redução de -22,6% no total de dias secos no mês em relação à média histórica, o que ajudou a refletir o predomínio do padrão pluvial Habitual (46,4%), sobretudo, nas microrregiões de Brasília, centro do Entorno de Brasília, oeste de Unaí, norte e sul de Pirapora e centro de Januária, enquanto os padrões Chuvoso (23,2%) e Muito Chuvoso (27,5%) estiveram distribuídos de forma heterogênea. As anomalias das médias de temperatura do ar foram positivas para média compensada (4,1%) e mínima (13,2%). Os totais pluviométricos favoreceram que o EXC ocorresse em todas as microrregiões (média de 162,4mm), com maior intensidade na porção ocidental de Paracatu e Entorno de Brasília e diminuindo gradualmente seus volumes em direção as demais localidades situadas à leste, norte e sul.

Os seis SF que adentraram o país possibilitaram a atuação intermitente de CV (quatro) e de ZC (duas) que chegaram já estabelecidos. Esses dois subsistemas atuaram conjuntamente em mais da metade do mês (22,6% e 35,5%, respectivamente) e estiveram proporcionalmente relacionados à abrangência preferencial de influência das massas de ar (mEc e mTc nas áreas situadas à oeste e mTa à leste), além de contribuírem, sobremaneira, para os acumulados pluviais registrados no período (35,4% de 245,2mm em E2-Brasília a 87,4% de 142,7mm em E5-Januária). De forma comparativa, em dezembro as ZC ficaram situadas, predominantemente, em latitudes mais ao norte da sua posição climatológica, enquanto que em janeiro elas ficaram posicionadas mais ao sul.

O resumo da sucessão dos sistemas e subsistemas atmosféricos ocorreu da seguinte maneira: (1) o primeiro dia do mês começou com a formação do primeiro CV que perdurou até o dia 3; (2) o segundo CV atuou entre os dias 12 e 15 e foi rapidamente sucedido pela primeira ZC de 2005; (3) nos dias 27 e 28 houve a segunda ZC seguida pela participação do terceiro CV nos dias 29 a 31. No interim entre os CV e as ZC houve diversos momentos de instabilidade atmosférica que resultaram em importantes para os totais precipitados, proporcionados pela presença da mTc e mTa nos dias 4 a 8, 23 e 24, além da mEc nos dias 9 a 11, 16, 25 e 26.

O total de dias com veranicos agrícolas, consecutivos ou esparsos, nas estações dos transectos em áreas produtoras foram de zero em E1-Pirenópolis, quatro em E2-Brasília, sete

em E3-Unaí, seis em E4-Arinos, zero em E7-Patos de Minas, quatro em E8-Paracatu e dez em E9-Formoso, com o menor valor de Capacidade de Água Disponível no Solo (CAD) de 72,5mm em E-Unaí, ou seja, sempre estiveram acima de 50% da CAD máxima.

Fevereiro de 2005

As anomalias da TSM para região do Pacífico Equatorial indicam enfraquecimento do fenômeno EN e a transição para uma fase de neutralidade. Essa afirmação foi embasada pela análise dos valores de TSM acima da média no setor ocidental (0,5ºC e 1,5ºC) enquanto que no setor oriental as anomalias estiveram abaixo da média (-1ºC).

A pluviosidade média regional foi de 203,6mm, que representa aumento de 46,5% e a redução de -7,7% do total de dias secos em relação às médias dos 20 anos. O padrão pluvial Habitual foi majoritário (44,9%), especialmente nas microrregiões do Entorno de Brasília, centro-norte de Unaí, centro-sul de Paracatu e Pirapora, enquanto o padrão Chuvoso (15,9%) e Muito Chuvoso (34,8%) estiveram concentrados nas microrregiões de Brasília, centro-sul de Unaí, norte de Paracatu e em grande parte de Januária.

Houve o aumento das anomalias das médias mensais de temperatura do ar (0,9% para máxima, 4,3% para média concentrada e 10,5% para mínima), porém os elevados quantitativos pluviais proporcionaram a ocorrência de volumes acumulados de EXC em todas as microrregiões (média de 105,6mm) e estiveram espacialmente concentrados em Brasília, Entorno de Brasília, Paracatu, sul de Unaí e centro-oeste de Januária.

A mEc e a mTc foram mais atuantes nos setores centro-oeste (respectivamente, 55,4% e 30,4% em E1-Pirenópolis) enquanto à leste elas tiveram menor relevância (25% e 0% em E6-Carinhanha), graças a maior participação da mTa (26,8% em E5-Januária e 44,6% em E6-Carinhanha). Os avanços das FPA contribuíram para formação de dois CV (29/01 até o dia 3 e de 26 a 28) e no estabelecimento de uma ZC (18 a 20) que possibilitaram a posterior atuação da mPa tropicalizada em quase um terço do mês, especialmente no setor centro-leste.

Toda área de estudo foi fortemente influenciada pelo avanço das FPA que deram origem a CV que modularam o escoamento dos ventos provenientes do quadrante oeste (mEc) que contribuíram de maneira contundente nos totais precipitados na porção ocidental do transecto A-B (E1-Pirenópolis a E4-Arinos) e no setor sul do transecto C-D (E7-Patos de Minas a E9-Formoso). Os volumes pluviométricos da porção oriental, exemplificados pelo peso proporcional da mTa na gênese pluvial em E6- Carinhanha (70,2% de 190,8mm), estiveram relacionados à atuação da ZC mais à leste de sua posição climatológica (identificado pela anomalia negativa de ROL), a qual foi estabelecida pelo avanço da terceira FPA que atuou no

país e que ganhou força pela formação de um ciclone extratropical estacionário no Oceano Atlântico. Esse fato pode justificar a relação causal entre a influência da mTa na gênese pluvial em E4-Arinos (51,7% do total de 135,3mm) com os menores totais regionais de EXC, os quais impactaram na redução dos valores de NDVI dos cultivos de soja situados nesse setor da unidade climática 2.D.III (Figura 89, p. 182).

Março de 2005

A configuração espacial das anomalias da TSM na região Equatorial do Oceano Pacífico manteve o mesmo padrão de fevereiro, o que reforça o enfraquecimento do fenômeno ENOS.

A pluviosidade média mensal foi de 267,8mm, que representa anomalia positiva de 41,5% e redução de -18,6% do total de dias secos em relação à média entre 1995/1996 e 2014/2015. Esse mês foi considerado Chuvoso (27,5%) e Muito chuvoso (42%) em grande parte das microrregiões, seguidos pelo padrão de intensidade Habitual (29%) que esteve concentrado no setor centro-leste de Januária.

As médias mensais da temperatura do ar possuíram desvio negativo para máxima (-1,1%) e positivos para média compensada (2,9%) e mínima (12,1%) em comparação à média histórica. Os maiores totais pluviométricos proporcionaram que o total acumulado e a distribuição espacial dos EXC superassem em volume e abrangência espacial as características presentes em dezembro, janeiro e fevereiro em todas as microrregiões (média regional de 174,1mm), com maior preponderância em Brasília, Entorno de Brasília, Unaí e Paracatu.

Seis frentes frias atuaram no país nesse mês, porém nenhuma delas alcançou as microrregiões sem estarem modificadas pela presença de CV ou ZC. Os elevados totais acumulados de chuva estiveram relacionados à contribuição de duas ZC: (1) a primeira e mais intensa esteve associada a última FPA de fevereiro que formou um CV no interior do continente no dia 26/02 e que, posteriormente, estruturou a formação da ZC entre os dias 1 e 7, com maior presença da mEc no setor centro-oeste e da mTa nas localidades situadas à leste; e (2) a segunda ZC formou-se pela incursão da segunda FPA que modulou as massas de ar e propiciou o acoplamento da mEc nos dias 15 a 20, com exceção da porção oriental da área de estudo (mTa). Já a mPa retorna após a passagem do primeiro CV (dias 9 e 10) e também nos dias 26 a 29, ao atuar na retaguarda da quarta FPA que passou pela Região Sudeste do Brasil.

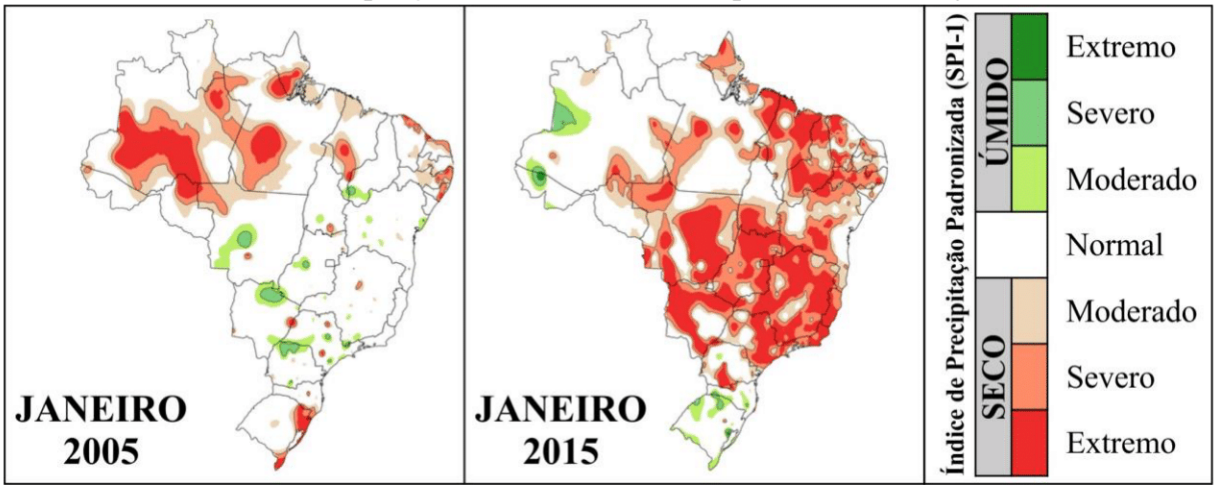
Também merece destaque a participação da mTc nesse mês, que adentrou a área e estudo a partir do quadrante oeste após a passagem dos SF, dos CV ou das ZC, principalmente na primeira quinzena do mês. Já na segunda metade percebe-se a menor presença dessa massa de ar em razão da maior recorrência e expansão espacial da mTa nos dias 21 a 25 e 29 a 31.

Janeiro de 2015

As condições climáticas ocorridas no mês de janeiro de 2015 necessitam ser analisadas com maior rigor de detalhes, partindo dos aspectos sinóticos e suas influências na dinâmica de sucessão das massas de ar e na manifestação dos elementos pluviotérmicos observados.

Marengo et al. (2015) e Coelho et al. (2016) analisaram as condições climáticas ocorridas nesse mês e identificaram fortes anomalias negativas de pluviosidade em grande parte do Brasil, com maior intensidade nas Regiões Sudeste (com destaque para Minas Gerais) e Centro-Oeste (sobretudo nos quadrantes norte e leste de Goiás), conforme Figura 119.

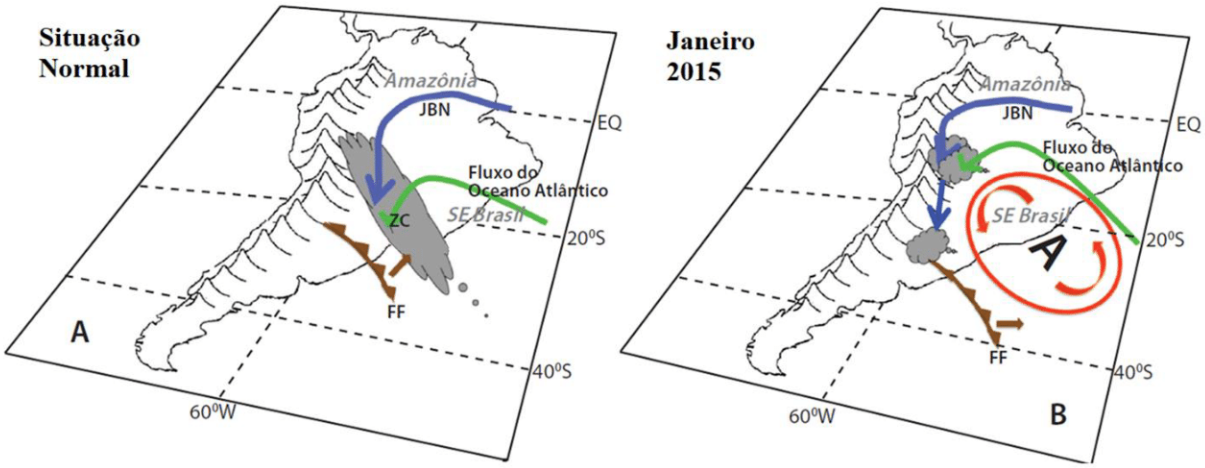
Figura 119 - Índice de Precipitação Padronizada (SPI-1) para os meses de janeiro 2005 e 2015.



Fonte: adaptado de CPTEC, 2020d. Elaborado pelo autor.

Nesse mês houve a continuação do bloqueio atmosférico que atuou na Região Sudeste do país e parte do Oceano Atlântico na última semana de dezembro, quando começou a ser reduzida a baroclinidade regional. Essa situação também esteve associada a circulação dos ventos na alta, média e baixa atmosfera, especificamente: (1) em 250 hPa houve maior poder de abrangência do Vórtice do Nordeste nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste, o qual influenciou no alongamento da crista da Alta da Bolívia (AB) sobre parte dessas regiões do país; (2) pela anomalia geopotencial à 500 hPa no centro-sul do Brasil, próximo ao paralelo 35ºS, que intensificou o bloqueio sobre os SF; (3) em 850 hPa e em superfície verificou-se a maior abrangência do ASAS no interior do continente nos dois primeiros decêndios do mês, constatados pela circulação descendente dos ventos que potencializou o aquecimento do ar por compressão mecânica e limitou a formação de áreas de instabilidade. O conjunto dessas condições sinóticas potencializou a intensa estiagem identificada no meio do período chuvoso para grande parte do país. Marengo et al. (2015) representaram visualmente os mecanismos sinóticos normais e os presentes em janeiro de 2015, como pode ser observado na Figura 120.

Figura 120 - Esboço com a caracterização dos elementos ligados ao transporte de umidade na América do Sul para (A) um verão normal e (B) para o verão seco do ano de 2015.



Anomalia do ASAS (A), Frentes Frias (FF), Jato de Baixos Níveis (JBN) e a Zona de Convergência (ZC)
Fonte: adaptado de MARENGO et al, 2015.

Esse bloqueio atmosférico proporcionou intensa atuação dos sistemas tropicais, com predomínio da mTa na porção oriental (46,8 a 88,7%), enquanto que nas demais estações do quadrante ocidental (E1-Pirenópolis a E3-Unaí) houve maior presença da mTc (56,3% a 91,3).

A baixa ocorrência de sistemas extratropicais refletiu na menor participação da mEc no decorrer do mês, pois a FPA é o principal mecanismo gerador de episódios de CV e de ZC que auxiliam no escoamento dos ventos úmidos de oeste e propiciam que essa massa de ar tenha maior contribuição na gênese pluvial, conforme foi observado no mês de janeiro de 2005.

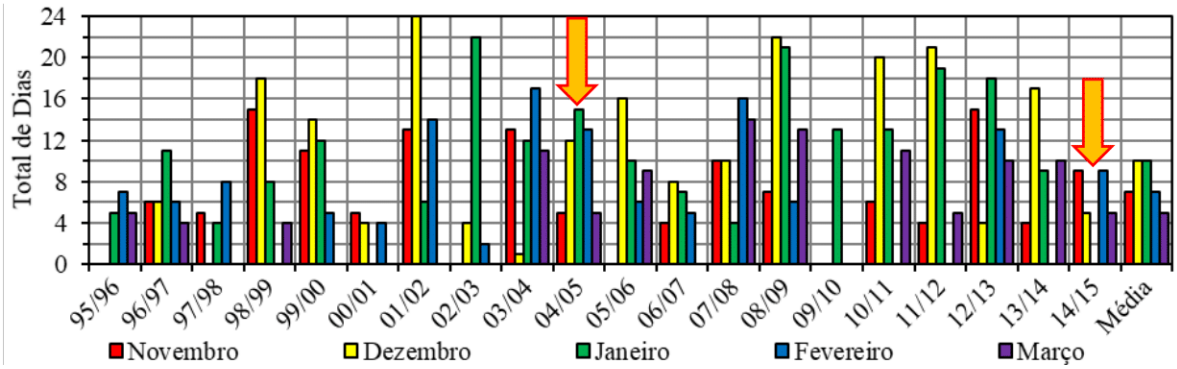
O quadro sinótico desse mês influenciou incisivamente na drástica redução das médias regionais de pluviosidade em relação aos dados médios entre 1995/1996 e 2014/2015, quando houve 54,6mm de precipitação média (-74,2%) e o aumento de 43,2% de dias secos. Ao comparar os dados com janeiro de 2005 notou-se a redução média de -199,6mm (-78,5%) e o aumento médio de 93,1% de dias sem precipitação (12 dias em média). Os períodos padrão de intensidade da pluviosidade demonstram a severidade da anomalia de estiagem, através do absoluto predomínio da classe Muito Seco (91,3%) seguida da classe Seco (7,2%) que representam 98,5% de todas as estações que influenciam as microrregiões analisadas. Esse mês precisa ser enfatizado por também corresponder ao janeiro mais seco para 56 (45,9%) e o segundo mais seco para 29 (23%) das 122 estações analisadas ao longo dos 20 anos de estudo desse trabalho e, também, como o segundo janeiro mais seco em 55 anos (1961 a 2015) para diversas estações meteorológicas utilizadas (INMET, 2020a).

Os baixos totais pluviométricos acumulados nesse período estiveram majoritariamente concentrados em três episódios: (1) o primeiro refere-se a formação de um CV no dia 4, que gerou os maiores volumes na porção centro-oeste (15,2mm a 20,8mm); (2) o bloqueio atmosférico que barrou o deslocamento latitudinal das FPA no interior do continente e próximo

à costa, entre os dias 5 e 20, foi enfraquecido a partir do início do terceiro decêndio do mês e possibilitou que a circulação dos ventos em altos níveis da atmosfera (atuação da AB) pudesse organizar a formação e o desenvolvimento de áreas de instabilidade que proporcionaram o estabelecimento da única ZC do mês, especificamente uma ZCOU de fraca intensidade (dias 22 a 24) que possibilitou baixos acumulados de chuva; (3) o último episódio esteve vinculado à presença da mTc e da mEc entre os dias 25 e 29, que propiciaram situações de instabilidade atmosférica e os maiores volumes precipitados no mês.

A retomada do transporte de umidade da setor sul da Região Norte para às Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil começou a ser estabelecida a partir da presença da ZCOU nos dias 22 a 24, entretanto, nesse mês não houve a formação de episódios de ZCAS, as quais são típicas nessa época e contribuem sobremaneira para os volumes pluviométricos mais elevados. A título de comparação, a ZCAS atuou durante metade do mês de janeiro de 2005 (Figura 121).

Figura 121 - Total de dias por mês com a presença de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) durante primavera-verão dos anos 1995/1996 a 2014/2015 no Brasil.



Fonte: adaptado de ROSA et al, 2020.

Com a ausência de chuva por quase duas semanas e a baixa nebulosidade do período, houve o aumento das temperaturas médias, com anomalias positivas de 8,3% para máxima, 8,9% para média compensada e 7,9% para mínima, representando, respectivamente, a ampliação de 3,1ºC, 1,6ºC e a redução de -0,6ºC em comparação ao mês de janeiro de 2005. Os baixos totais pluviométricos associados à elevada temperatura do ar acentuaram a perda de água no solo e proporcionaram baixos volumes de EXC (média regional de 23,8mm) concentrados na porção sudoeste da microrregião do Entorno de Brasília e sudeste da microrregião de Paracatu, enquanto que o predomínio anômalo da DEF (média regional de 39,4mmm) esteve atrelado às áreas de menor altitude da depressão da bacia do Rio São Francisco.

A análise dos gráficos de Análise Rítmica para as estações dos transectos A-B (Apêndice K a P, p. 292-297) e C-D (Apêndice Q a S, p. 298-300) situadas em áreas produtoras de soja possibilitou identificar que os períodos de veranico agrícola vinham acontecendo desde dezembro, sendo que em janeiro (Tabela 33) esse fenômeno ocorreu entre 54,8% e 93,5% dos

dias do mês e com duração máxima de 7 a 29 dias, respectivamente, em E1-Pirenópolis e E9-Formoso. Essa situação reduziu a nebulosidade e aumentou as horas de insolação e as temperaturas diárias.

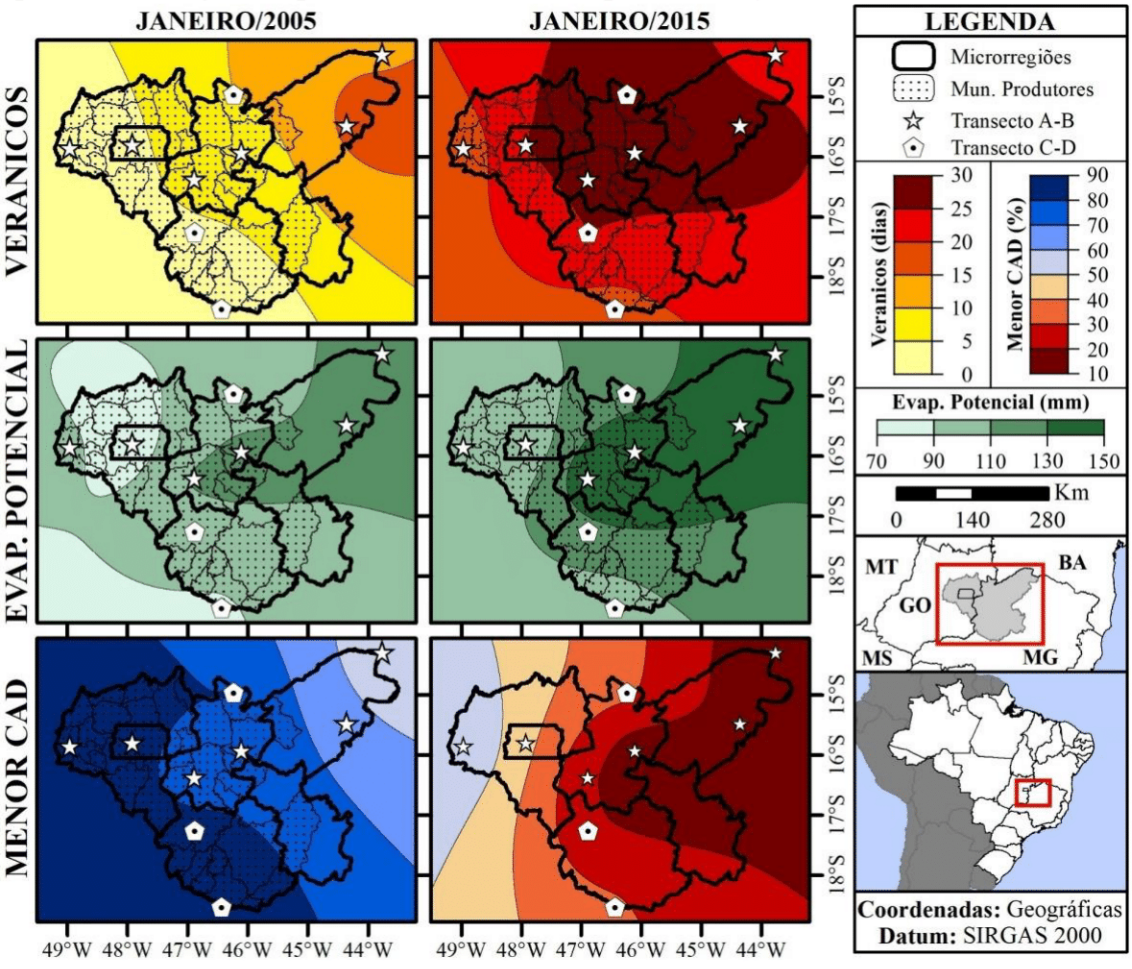
Tabela 33 - Total de dias de veranicos agrícolas em janeiro de 2015 e suas durações mínimas e máxima para as estações dos transectos A-B e C-D situadas em áreas produtoras.

Veranico Agrícola		Transecto A-B				Transecto C-D			
		E1	E2	E3	E4	E7	E8	E3	E9
Total de dias	Σ	17	25	26	27	18	25	26	29
Duração	Máximo	7	18	21	27	18	21	21	21
	Mínimo	4	4	4	-	-	4	4	5

Fonte: adaptado de INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Os fortes contrastes do BHC nos meses de janeiro de 2005 e 2015 (Figuras 117 [p. 232] e 122) permitiram constatar que no mês em análise houve o intenso aumento da Evapotranspiração Potencial (ET_p) que proporcionou a ascensão da DEF, que por sua vez, provocou drástica redução da CAD no solo, com acumulados mínimos entre 10,7mm e 60,5mm.

Figura 122 - Total de dias com Veranico Agrícola, Evapotranspiração Potencial e menor Capacidade de Água Disponível no Solo (CAD) para as estações dos transectos A-B e C-D.

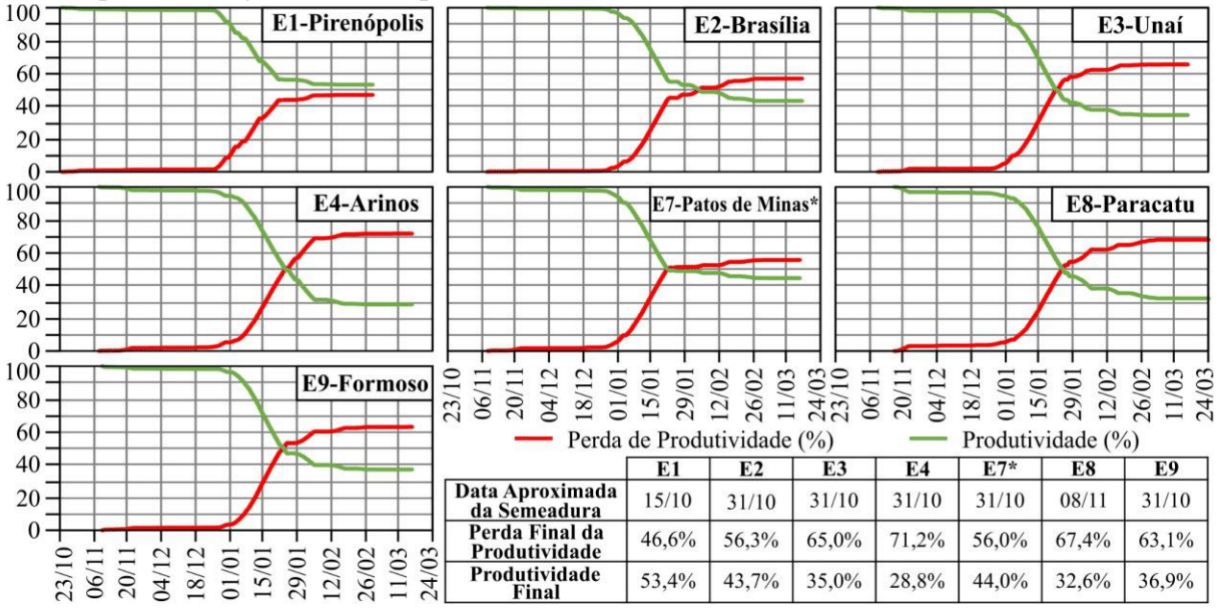


Fonte: adaptado de INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Ao analisar a relação entre os estágios de crescimento dos cultivos e as condições do BHC para as estações meteorológicas dos transectos presentes nos gráficos de Análise Rítmica, percebe-se que a CAD esteve abaixo de 50% da capacidade máxima de armazenamento em quase todas as localidades durante os estágios de floração e/ou frutificação dos grãos (exceto em E1-Pirenópolis, com 61%), caracterizando, desse modo, períodos de *stress* hídrico para os cultivos (EMBRAPA, 2011). O *stress* hídrico nas plantas de soja nesses estágios fenológicos corresponde a períodos muito sensíveis para perda de parte da produção, pois levam a consequências severas em relação à quantidade e à qualidade da soja colhida em razão do abortamento dos botões de flor (impede o crescimento dos brotos), da murcha dos brotos e/ou da incapacidade de enchimento dos grãos pelo acúmulo de umidade, conforme afirmam Gomes (1990), Paludzyszyn Filho; Kiihl (1993), Spehar et al. (1993), Costa (1996), Santos (2002) e Mariano et al. (2006). A comprovação desses fatos justifica a radical redução dos valores de NDVI identificados a partir de janeiro e constatados nas Figuras 105 e 106 (p. 206-207).

O impacto negativo das condições climáticas de janeiro nos resultados finais de produtividade da safra 2014/2015 pode ser também corroborado pelos cálculos de estimativa de produtividade a partir do Balanço Hídrico de Cultivo (INMET, 2020b). Os resultados apontam que nesse mês houve a inflexão descendente das curvas de produtividade que acumularam perdas entre 46,6% e 71,2% para os plantios de sequeiro, ou seja, não refletem as condições para os cultivos que adotaram técnicas irrigação (Figura 123).

Figura 123 - Estimativas de produtividade e de perda de produtividade para as lavouras de sequeiro de soja dos municípios situados nos transectos A-B e C-D: safra 2014/2015.



	E1	E2	E3	E4	E7*	E8	E9
Data Aproximada da Semeadura	15/10	31/10	31/10	31/10	31/10	08/11	31/10
Perda Final da Produtividade	46,6%	56,3%	65,0%	71,2%	56,0%	67,4%	63,1%
Produtividade Final	53,4%	43,7%	35,0%	28,8%	44,0%	32,6%	36,9%

* O município produtor de soja mais próximo é Presidente Olegário, situado 16km de E7-Patos de Minas.

Fonte: adaptado de INMET, 2020b. Elaborado pelo autor.

As estimativas de perda de produtividade foram gradativamente acentuadas nas localidades de oeste (E1-Pirenópolis) para à leste (E4-Arinos) e também de sul (E7-Patos de Minas) para ao norte (E9-Formoso). É importante frisar que esses quantitativos de perdas não se materializaram exatamente nos resultados finais de produtividade dos municípios, pois os dados oficiais do IBGE (2018b) correspondem a um valor de produtividade média, ou seja, incorporam informações de cultivos de sequeiro e de irrigação. De todo modo, mesmo com a alta tecnificação da produção nos maiores municípios produtores, como Unaí e Paracatu, foram constatadas perdas substanciais de produtividade nesses e em outros municípios que compõem o quadro analisado nesse estudo (Figuras 67 [p. 152], 70 [p. 154] e 71 [p.155]).

Fevereiro de 2015

A tendência de continuidade da fase quente do fenômeno ENOS nos próximos meses esteve relacionada a elevação das anomalias positivas da TSM em fevereiro nas três regiões do Pacífico Equatorial (Niño 3, 3.4 e 4), com pico de 2ºC no setor próximo à longitude 180º (LID).

Fevereiro marca o término do bloqueio atmosférico sobre o continente sul-americano, iniciado no final de dezembro e atuante durante o mês de janeiro, e a volta das condições normais de circulação atmosférica para sazonalidade climática de verão. Esse fato permitiu o reestabelecimento do período chuvoso em todas as microrregiões, através do regresso da FPA que possibilitou, novamente, a formação de ZC e a retomada das condições sinóticas que propiciam maiores volumes pluviais na primavera-verão nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Nesse mês houve três episódios de ZC no país, quando foi possível identificar que a circulação dos ventos provenientes do quadrante oeste (atuação regional da mEc na modulação desses subsistemas) provocou intensa ciclogênese com formação de nebulosidade. As ZC atuaram entre 28,6% e 39,3% do mês, sendo que: a primeira ocorreu nos dias 5 a 9 e esteve associada, primeiramente, a ocorrência da Depressão Subtropical Bapo que atuou próximo à costa da Região Sudeste, entre os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo, e influenciou o escoamento do ar e modulou a configuração sinótica regional, até ser rebaixada para categoria de Tempestade Subtropical; a segunda foi de 16 a 18; e, por último, a terceira nos dias 27 e 28.

Além da importante presença da mEc (46,4% a 26,8%) e sua afinidade com a ZC, é necessário destacar a participação da mTa (30,4% a 66,1%) no começo do mês (1 a 3) e nos dias 10 a 15 e 21 a 25, quando houve períodos sem precipitação nas microrregiões devido a maior influência das características típicas do ASAS. Já a mTc atuou, principalmente, na

ausência de ZC e suas contribuições foram esparsas e espacialmente concentradas nas porções centro-oeste (7,1% a 19,6%) e centro-sul (10,7% a 14,3%).

Os 181,4mm de pluviosidade média regional corresponderam ao aumento de 24,5% em relação à média histórica, porém os maiores volumes estiveram espacialmente agrupados nas microrregiões de Paracatu e nas porções sul de Unaí e Entorno de Brasília. Os padrões de intensidade da pluviosidade apontam que a distribuição espacial da classe Habitual (50,7%) ocorreu de forma heterogênea, enquanto que as classes Chuvoso (20,3%) e Muito Chuvoso (18,8) estiveram concentradas nas microrregiões de Paracatu e centro-oeste de Pirapora. As ZC foram importantes contribuintes ligados à gênese pluvial (especialmente pelos maiores volumes precipitados no primeiro episódio do mês) ao proporcionarem entre 74% (E1-Pirenópolis) a 98,6% (E2-Brasília) no transecto A-B e 59% (E9-Formoso) a 76,6% (E3-Unaí) no transecto C-D do total precipitado. Os demais volumes pluviais do mês estiveram associados às situações de instabilidade atmosférica no interior da mTc (dia 11) e da mTa (dia 24).

Não foi possível correlacionar os desvios das médias das temperaturas do mês (-0,7% para máxima, 2,2% para média compensada e 7,3% para mínima em comparação à média histórica) com as características típicas de cada massa de ar. Todavia, as condições pluviotérmicas permitiram que os EXC fossem predominantes na porção centro-oeste (média regional de 105,1mm), com destaque para os maiores quantitativos ao sul da microrregião de Paracatu, enquanto que os menores volumes precipitados na porção centro-leste favoreceram a continuidade da DEF (média regional de 15,9mm) que perdurou nesses locais desde janeiro.

Março de 2015

Houve a presença da ZC em três episódios diferentes que totalizaram 43,5% de participação mensal. Esses subsistemas estiveram vinculados às atuações da mEc, mTc ou mTa que participaram de modo heterogêneo no tempo e no espaço conforme a posição geográfica de cada localidade e o momento de atuação de cada massa de ar. A primeira ZC do mês ocorreu entre os dias 9 e 15 e teve sua origem relacionada a intensificação da instabilidade regional provocada pela formação da Depressão Subtropical Cari sobre o Oceano Atlântico (próximo ao litoral de São Paulo), que posteriormente perdeu força e evoluiu para Tempestade Subtropical. A segunda ZC atuou entre 17 e 20 e, por fim, a terceira influenciou as microrregiões nos dias 23 e 24.

Nos demais dias do mês, quando não houve a presença das ZC, percebe-se intensa alternância horário/diária em relação à abrangência geográfica de influência de atuação das massas de ar de origem tropical e equatorial, ora com atuação da mTa que era intercalada pela

mTc e rapidamente sucedida pela presença da mEc substituindo um ou ambos os sistemas. Essa oscilação temporal e espacial da participação dos sistemas pode ser justificada pelo mês de março representar o início das características climáticas de transição sazonal entre o final do período chuvoso e início da estiagem na área de estudo, mas com a clara distinção entre a maior participação das massas de ar continental à oeste e da atlântica à leste.

A pluviosidade média regional foi de 175,1mm e representou -10,2% em relação à média histórica e -34,6% em comparação a março de 2005. Foi possível identificar que a pluviosidade foi mais escassa nas microrregiões de Januária e leste de Pirapora, e mais elevada nas microrregiões de Brasília, Entorno de Brasília, Paracatu e centro-sul de Unaí, onde a configuração espacial das isoietas estão visivelmente orientadas no sentido NW-SE (Figura 117, p. 232). Ao analisar essas informações em conjunto com os sistemas atmosféricos vinculados à gênese pluvial (Figura 118, p. 233) conclui-se que os episódios de ZC foram fundamentais para essas localidades acumularem os maiores totais precipitados de chuva.

Ao analisar a contribuição das massas de ar na gênese pluvial nos episódios de ZC foi possível definir que a mEc esteve mais presente nos setores setentrional e meso-ocidental, enquanto que mTc esteve vinculada à porção meridional e a mTa mostrou maior participação nas localidades situadas no quadrante oriental. Essa mesma configuração espacial esteve presente na gênese pluvial dos dias sem o suporte da ZC, porém, nessas ocasiões as massas de ar possuíram formação e desenvolvimento de áreas de instabilidade pela influência da circulação dos ventos nos estratos superiores da atmosfera (VCAN, CV de Altos Níveis e a AB).

A distribuição espacial dos totais pluviais e a configuração geográfica das isotermas (anomalias das médias de temperatura do ar de -1,2% para máxima, 1,4% para média e 7,5% para a mínima) proporcionaram que os EXC (média regional de 125,9mm) possuíssem as mesmas características discutidas para a gênese pluvial, com a orientação NW-SE dos maiores acumulados de água no solo situados nas microrregiões de Brasília, Entorno de Brasília, Paracatu e centro-sul de Unaí, enquanto que as áreas de DEF (45,6mm) estiveram exatamente situadas nas áreas de menor precipitação (microrregiões de Januária e leste de Pirapora).

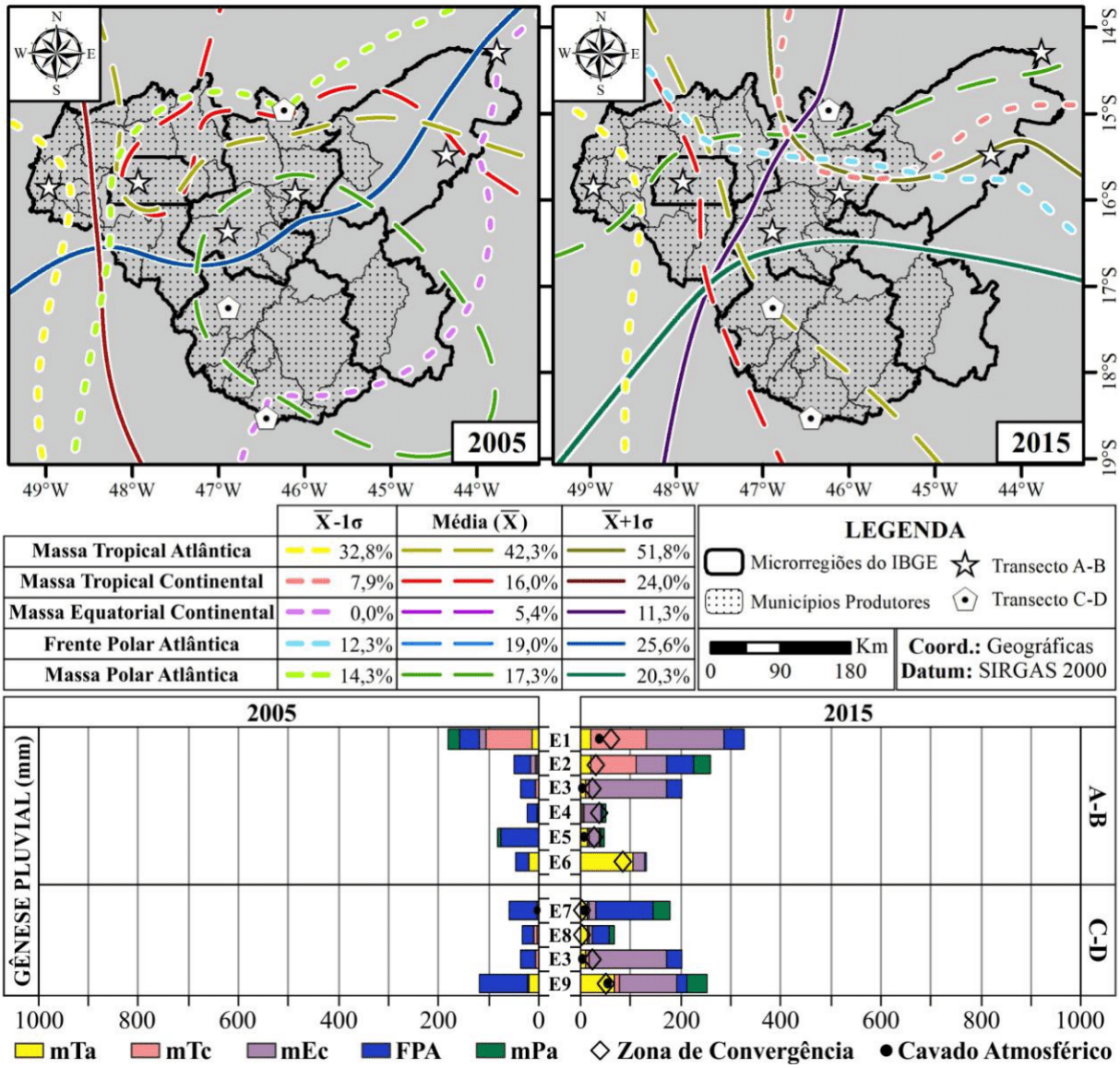
5.6.5 Outono

Outono é climaticamente marcado pela redução gradual dos totais pluviais, o que indicada a transição da sazonalidade do período chuvoso para o seco.

Em 2004 constatou-se a retomada da mPa e da FPA (com sua maior contribuição percentual em comparação a todas as estações do ano analisadas), a menor atuação da mEc já

registrada e a maior presença média da mTa e mTc nos setores norte e oeste. O ano de 2015 demonstra: maior presença da mEc na porção meso-ocidental; enquanto que a FPA teve pouca participação nesse período e a mPa teve sua atuação média nos setores norte/nordeste e maior contribuição na porção centro-sul; que as isolinhas médias da mTa e da mTc indicaram maior influência na porção meridional. O ano de 2015 apresentou maiores volumes pluviométricos em comparação à 2005 (Figura 124).

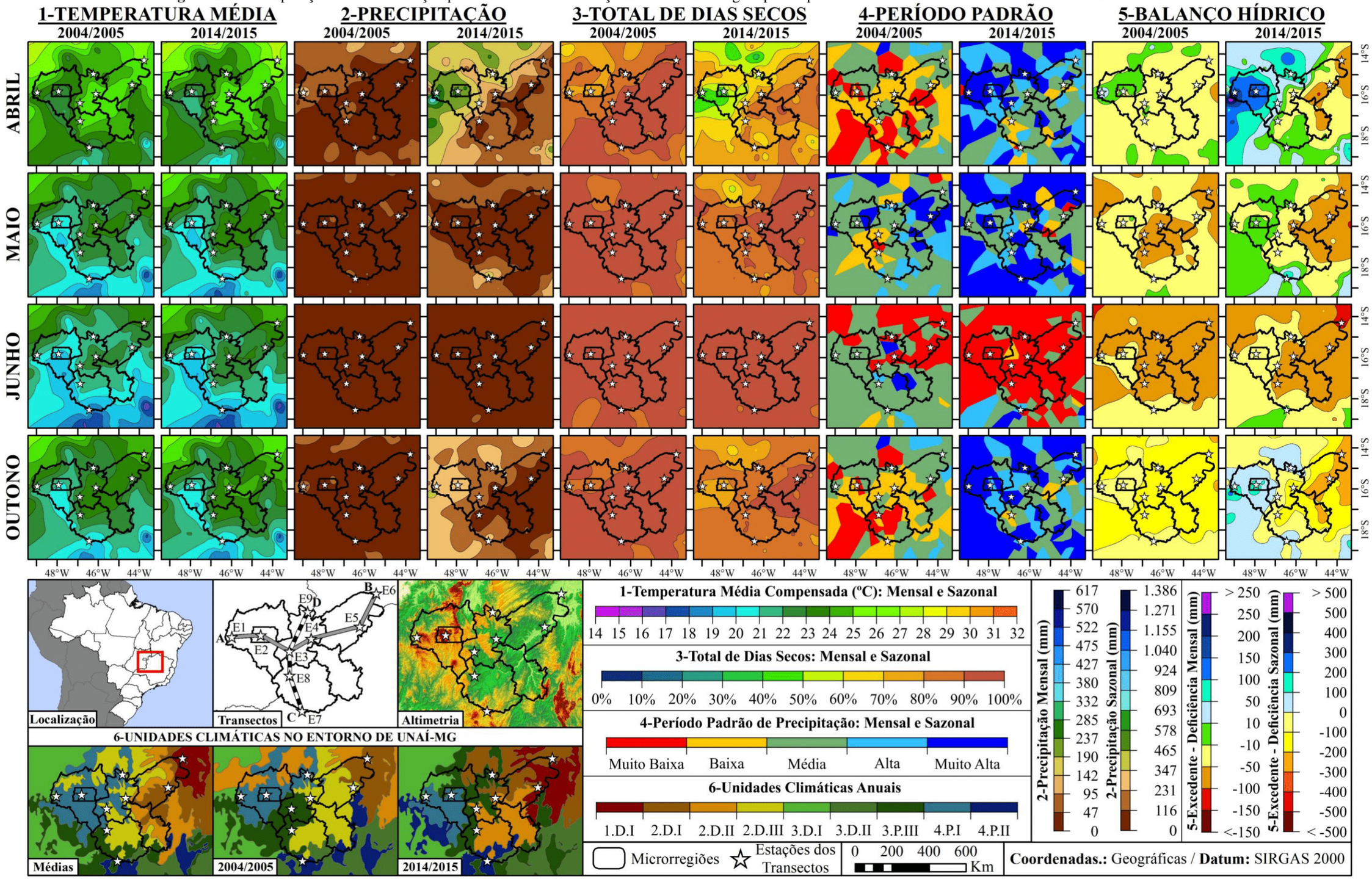
Figura 124 - Índice de participação das massas de ar e suas contribuições para gênese pluvial do período de Outono dos anos 2005 e 2015 no entorno de Unaí-MG.



Fonte: elaborado pelo autor.

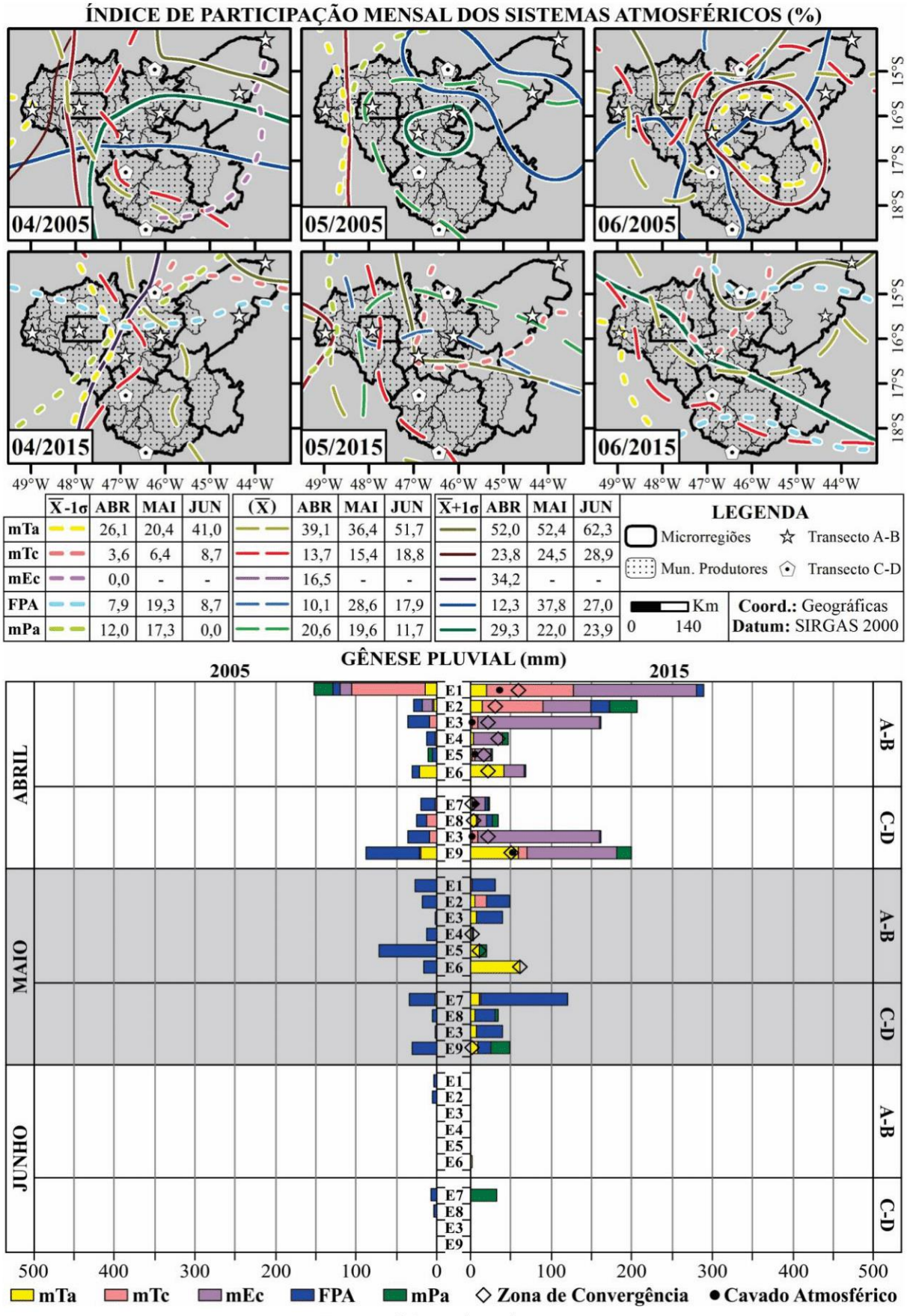
A síntese da variabilidade espacial e temporal da temperatura do ar, da pluviosidade e do BHC está apresentada na Figura 125 e as participações dos sistemas atmosféricos para os meses de outono estão resumidos na Figura 126.

Figura 125 - Comparação da caracterização pluviotérmica e do balanço hídrico climatológico para o período de Outono dos anos 2005 e 2015 no entorno Unaí-MG.



Fonte: adaptado de ANA, 2018; INMET, 2018a. Elaborado pelo autor.

Figura 126 - Participação dos sistemas atmosféricos nos meses de Outono dos anos 2005 e 2015 e suas contribuições na gênese pluvial nas estações dos transectos A-B/C-D.



	$\overline{X}$-1σ	ABR	MAI	JUN	($\overline{X}$)	ABR	MAI	JUN	$\overline{X}$+1σ	ABR	MAI	JUN
mTa		26,1	20,4	41,0		39,1	36,4	51,7		52,0	52,4	62,3
mTc		3,6	6,4	8,7		13,7	15,4	18,8		23,8	24,5	28,9
mEc		0,0	-	-		16,5	-	-		34,2	-	-
FPA		7,9	19,3	8,7		10,1	28,6	17,9		12,3	37,8	27,0
mPa		12,0	17,3	0,0		20,6	19,6	11,7		29,3	22,0	23,9

Fonte: elaborado pelo autor.

Abril de 2005

As anomalias da TSM continuam positivas (0,5ºC e 1ºC) no setor equatorial da Linha Internacional de Data (longitude 180º), porém reduziram sua área e intensidade em comparação ao mês de março.

O início do outono apresenta características típicas do período, marcada pela acentuada redução mensal dos totais pluviais acumulados. A média regional da pluviosidade foi de 36,2mm e correspondeu à anomalia de -48,1% da média de precipitação e no aumento de 9,4% do total de dias secos em comparação às médias entre 1995/1996 e 2014/2015, principalmente nos setores centro-sul e centro-leste. Essas condições propiciaram que a intensidade do período padrão de pluviosidade estivesse majoritariamente concentrada nas classes Seco (39,1%) e Muito Seco (23,2%), com exceção dos setores norte do Entorno de Brasília, sul de Unaí e nordeste de Januária que apresentaram o padrão Habitual (37,7%).

Dos sete SF que atuaram no país, dois deles influenciaram diretamente a área de estudo na última semana do mês, respectivamente, a sexta FPA (26 a 28) e a sétima FPA (dia 30), enquanto que cinco mPa, todas elas sem relação com as duas FPA mencionadas, atuaram entre 15% (E1-Pirenópolis) e 33,3% (E8-Paracatu) do mês, especificamente: no dia 1, fruto da quinta e última FPA do mês de março; de 7 a 11, em razão da primeira FPA do mês; de 14 a 15, da terceira FPA; e de 17 a 19, devido a quarta FPA. Além desses sistemas extratropicais, houve a intensa atuação da mTa nos dois primeiros decêndios (25% em E1-Pirenópolis a 58,3% em E6-Carinhanha) e da mTc (46,7% em E1-Pirenópolis a 5% em E6-Carinhanha) com maior preponderância na primeira metade do terceiro decêndio.

As anomalias das médias mensais de temperatura do ar foram de 1,9% para máxima, 3,5% para média compensada e 5,7% para mínima, que conjugada às condições pluviométricas proporcionou a prevalência da DEF (média regional de 26,1mm) em quase todas as microrregiões, exceto pelos baixos volumes de EXC (média regional de 47,9mm) nas microrregiões de Brasília e porção norte do Entorno de Brasília.

Maio de 2005

Em maio a TSM da região do Pacífico Equatorial possuiu condições próximas à média histórica, com presença pontual de pequenas áreas de anomalias positivas.

Por mais que a média regional dos acumulados de chuva seja de 21,5mm, esse valor representa o acréscimo de 38,8% em relação à média histórica. A intensidade dos padrões de chuvas aponta a predominância da classe Habitual (58%) no centro-oeste do Entorno de

Brasília, centro-norte de Unaí e centro de Paracatu, seguida das classes Muito Chuvoso (15,9%) nos setores nordeste do Entorno de Brasília e de Pirapora, além da parte central de Januária.

Dos sete SF que atuaram no país em maio, três deles passaram pelas microrregiões, sendo que o quinto e o sexto foram responsáveis por toda a pluviosidade acumulada nas microrregiões. A primeira FPA começou a atuar no final de abril e propiciou chuvas nas porções norte e leste nos dias 1 e 2 até entrar em dissipação no final desse mesmo dia, enquanto que a segunda FPA chegou no dia 22 e contribuiu com a precipitação nos dias 25 e 26 (após se tornar estacionária) e atuou até o dia 28 quando entrou em processo de frontólise. Subsequente à atuação das duas FPA houve as participações da mPa tropicalizada nos dias 2 a 5 e 29 a 31. No restante do mês ocorreu as atuações heterogêneas dos sistemas tropicais, com destaque para a maior influência da mTc nos dias 6 a 8 e 16 a 21, devido ao avanço das FPA que deslocaram o centro de ação do ASAS para leste e diminuíam o poder de abrangência da mTa no interior do continente.

A coparticipação dos episódios da FPA e da mPa proporcionou a atuação agregada entre 50% e 59,7% do total mensal e auxiliou na diminuição das médias de temperatura em todas as estações dos transectos, com variações de -4,6% para máxima, -6,4% para média compensada e -8,7% para mínima. Mesmo com a redução das temperaturas houve a hegemonia da DEF em todas as microrregiões (média regional de 45,6mm), principalmente na porção centro-leste da depressão da bacia do Rio São Francisco pelo baixo quantitativo pluviométrico acumulado.

Junho de 2005

Nesse mês a pluviosidade foi muito baixa ou nula em toda área de estudo (média de 3,4mm e redução de -25,1% em relação à média histórica), além de redução das médias de temperatura de -7,4% para máxima, -10,3% para média compensada e -14,3% para mínima. A ausência de pluviosidade contribuiu para que a DEF fosse hegemônica (média regional de 62mm), sendo mais severa nas áreas de menor altitude do setor oriental.

A primeira metade do mês foi caracterizada pela presença de um bloqueio atmosférico estacionário próximo ao litoral da Região Sul e no setor meridional da Região Sudeste, o qual proporcionou maior poder de influência e capacidade de abrangência do ASAS no interior do país. Esse fenômeno acentuou a participação do braço continentalizado da mTa e favoreceu a manutenção de condições de tempo estável e seco em grande parte das microrregiões. Esse fato pode ser comprovado pela maior atuação da mTa no mês, variando entre 25% (E4-Arinos) e 68,3% (E9-Formoso), enquanto que a mTc agiu de modo esparso e menos preponderante (8,3% em E2-Brasília a 48,3% em E4-Arinos).

A partir da segunda quinzena de abril o bloqueio atmosférico foi deslocado para leste e, com isso, tornou-se possível o avanço da sexta e penúltima FPA a atuar no país para as localidades situadas nas menores latitudes. Sua participação ocorreu entre os dias 19 e 25 (13,3% em E9-Formoso a 26,7% na porção centro-sul do total mensal) e proporcionou redução significativa das temperaturas e em acumulados de chuva pouco expressivos, com 2,5mm (E1-Pirenópolis) e 5,4mm (E2-Brasília) na porção oeste do transecto A-B.

Abril de 2015

Nos meses de março e abril ocorreu significativa expansão e aumento dos desvios positivos de TSM para o quadrante oriental do Pacífico Equatorial, enquanto que a região 3.4, que serve como referência para o evento ENOS, apresentou as mesmas condições de anomalia positiva que indicam a manutenção da fase quente do fenômeno EN.

O mês de abril marca a transição entre o término do período chuvoso e o início de período de estiagem na área de estudo, porém o ano de 2015 apresentou acumulados pluviométricos acima da média regional em quase todas as microrregiões (106,2mm e aumento de 45,8% em relação à média histórica e 193,1% em comparação a 2005), com predominância dos padrões pluviais Chuvoso (18,8%) e Muito Chuvoso (30,4%) em quase metade das estações, com destaque para as microrregiões de Brasília e porção centro-oeste do Entorno de Brasília, enquanto que o padrão Habitual foi presente em 36,2% das estações e esteve principalmente localizado nas microrregiões de Pirapora e centro-leste de Paracatu.

Três SF atuaram de forma direta ou indireta nas microrregiões, com: (1) a primeira FPA atuando no dia 1 com baixo gradiente de pressão e rápido processo de frontólise já no dia 2; (2) a segunda FPA influenciou a partir do dia 6 e formou uma ZC de fraca intensidade nos dias 7 e 8, quando proporcionou baixos volumes pluviométricos; (3) e a terceira FPA já chegou estruturada como a segunda ZC do mês e influenciou com maiores volumes de chuva as estações situadas na porção meso-setentrional no primeiro dia (27) e depois ficou restrita a E5-Januária, E6-Carinhanha e E9-Formoso onde proporcionou volumes abaixo de 5mm. Os maiores volumes precipitados estiveram associados a situações de intensa instabilidade nos sistemas de baixa pressão da mTc e da mEc nas estações E1-Pirenópolis a E3-Unaí e E9-Formoso, enquanto que os menores volumes acumulados possuíram sua gênese vinculada às estações com maior atuação da mTa. Essa dinâmica das massas de ar possibilitou a presença de DEF (média 28,2mm) nas microrregiões de Pirapora, Januária, setor central de Paracatu e porção leste de Unaí, e concentração de EXC (média 103,3mm) nas áreas de maior pluviosidade da porção centro-oeste.

Nesse mês houve intenso escoamento de ventos vindos do quadrante oeste, indicando maior participação da mEc (56,7% a 31,7%) e menor proporção da mTc (16,7% a 25%) na porção ocidental (E1-Pirenópolis a E3-Unaí), enquanto que a mTa foi a massa de ar mais presente nas demais localidades (36,7 a 56,7%), sobretudo no extremo leste (E6-Carinhanha) e norte (E9-Formoso). Os desvios médios de temperatura apontam redução de -0,8% para máxima e aumento de 1,4% para média compensada e 7,8% para mínima em relação as médias dos 20 anos. As maiores anomalias positivas de temperatura estiveram principalmente vinculadas às áreas de menor altitude onde predominou a atuação anticiclônica da mTa (E4-Arinos a E6-Carinhanha), enquanto que a redução das máximas esteve associada as incursões da mPa nos dias 8 a 11, 17, 18 e 23.

Maio de 2015

Os totais mensais de chuva em todas as microrregiões começaram a sofrer drásticas reduções, porém esse mês pode ser considerado como climaticamente atípico, pois a média regional de pluviosidade (42,3mm) apresentou anomalias positivas de 139,5% e 97% em relação, respectivamente, às médias dos 20 anos e ao ano de 2005, que proporcionaram a predominância dos padrões pluviais Chuvoso (11,6%) e Muito Chuvoso (50,7%) quase todas as microrregiões, com exceção de Pirapora e partes do Entorno de Brasília onde o padrão Habitual (29% das estações) foi mais presente. As médias das temperaturas também tiveram desvios negativos consideráveis, através da redução de -7,4% para máxima, -6,8% para média compensada e -5,1% para as mínimas. Essas condições pluviotérmicas possibilitaram EXC somente na estação E7-Patos de Minas, enquanto que nas outras 68 estações que influenciam a área de estudo houve DEF (média de 38,9mm), com maior intensidade nas microrregiões de Pirapora e Januária, e menor intensidade em Brasília e partes do Entorno de Brasília.

Os maiores volumes precipitados ficaram concentrados na primeira quinzena do mês e suas gêneses estiveram vinculadas a: (1) atuação da ZC que começou no final de abril e perdurou nas porções centro-leste e norte até o dia 2; (2) incursão da primeira FPA de maio que chegou no dia 4 e entrou em dissipação no dia 7; (3) a segunda frente fria entre os dias 11 e 13. Na retaguarda desses três sistemas houve a posterior presença da mPa nos dias 3, 7 a 9 e 14 a 17 (total de participação mensal entre 16,1% e 21%), com características higrotérmicas que indicam processo de tropicalização, mas, que mesmo assim, conseguiram influenciar a temperatura do ar ao proporcionar as anomalias negativas das médias de temperatura do ar.

A mTa foi o sistema mais presente no mês em todas as estações analisadas (35,5% a 61,3%), ao atuar antes e após a ocorrência da FPA e da mPa. Sua maior participação ocorreu

entre os dias 17 e 23, quando foi identificada a circulação anticiclônica anômala do ASAS no interior do continente devido ao seu deslocamento mais à oeste em relação à sua posição climatológica sobre o Oceano Atlântico. Esse fato estabeleceu um bloqueio atmosférico que limitou o avanço de sistemas extratropicais rumo às baixas latitudes, o qual só foi interrompido com o acoplamento de um CV na média troposfera no dia 24 que possibilitou a atuação de uma FPA de fraca intensidade nos dias 28 e 29 nas porções centro-sul e centro-norte. Apesar disso, as áreas situadas à oeste (E1-Pirenópolis e E2-Brasília) e Sul (E7-Patos de Minas e E8-Paracatu) tiveram maior presença da mTc no mês, variando entre 11,3% e 25,8%.

Junho de 2015

As condições da TSM do setor equatorial do Oceano Pacífico mantiveram em junho a mesma tendência de aquecimento registrada em maio, a qual foi identificada pelas anomalias térmicas positivas em consonância com os valores negativos de IOS e o relaxamento dos ventos em baixos e altos níveis, que indicam a persistência da fase quente do fenômeno ENOS.

Junho de 2015 possuiu volumes pluviométricos muito baixos ou até mesmo inexistentes na maioria das localidades (média regional de 0,9mm que representa redução de -91,1% em relação à média histórica), o que impactou na forte presença dos padrões pluviais Muito Seco (82,6%) e Seco (1,4%) nas estações do entorno de Unaí. Dos três SF que adentraram o país, dois tiveram rápido deslocamento pelas microrregiões, o primeiro com repercussão no dia 16 e dissipação no dia 17, seguido por outro sistema transiente no dia 19 que perdurou até o dia 21.

As três mPa que possibilitaram os deslocamentos das FPA no país influenciaram a área de estudo entre 20% a 28,3% do total mensal, precisamente nos dias 3 a 5 (com precipitação no extremo sul), 20 a 23 e 26 a 27. Esses sistemas extratropicais proporcionaram anomalias negativas de temperatura do ar (-6,9% para máxima, -9,8% para média compensada e -13,7% para mínima) em comparação às médias dos 20 anos, sobretudo nas áreas de maior altitude do setor ocidental e meridional.

Nos demais dias do mês, quando não houve atuação dos sistemas extratropicais, percebe-se a intensa presença da mTa (40% a 65%) intercalada com esparsos momentos da mTc (6,7% a 23,3%) entre os dias 11 a 16.

6 CONCLUSÃO

A ação do clima em suas múltiplas escalas influencia direta e indiretamente a distribuição e a organização dos elementos naturais e antrópicos no espaço geográfico. Sob esse aspecto cabe ressaltar o papel dos avanços técnicos e científicos no meio agrário, os quais proporcionaram a adaptação e difusão de diversos cultivares agrícolas para condições diferentes de suas localidades de origem, por exemplo, pela inserção do plantio de soja do nordeste da China para as regiões tropicais do continente sul-americano.

Dentro dessa perspectiva destaca-se o Brasil, que há muitas décadas vem desenvolvendo, aprimorando e incorporando a sojicultura na matriz produtiva nacional através da expansão do seu cultivo em ambientes com diferentes condições climáticas, desde o subtropical das Regiões Sul e Sudeste, passando pelo tropical das Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Norte até o equatorial das Regiões Centro-Oeste e Norte. As características climáticas presentes no território brasileiro e a capacidade de resiliência da planta de soja aos mais diferentes ambientes alçaram o país a um dos principais protagonistas do cultivo e exportação dessa oleaginosa, que aliada ao aprimoramento de técnicas de cultivo buscaram, se não anular, no mínimo mitigar os impactos negativos das adversidades provenientes da dinâmica climática sobre a produção.

Os resultados obtidos nesse trabalho possibilitaram um melhor entendimento da complexa relação de causa e efeito entre as características pluviotérmicas e suas influências na produção de soja para as microrregiões do entorno do município de Unaí-MG, as quais foram analisadas a partir da gênese e dinâmica climática em anos agrícolas com características antagônicas de produtividade.

A delimitação espacial de regiões climaticamente homogêneas, a partir dos dados médios de temperatura do ar e pluviosidade, expandiu a capacidade de compreensão do papel dos diferentes espaços na produção de soja. Esse fato possibilitou a proposição de uma justificativa para ausência de áreas produtoras em determinados municípios da porção centro-leste da área de estudo, a qual está fundamentada em dois pressupostos:

1) a variabilidade espacial dos fatores e elementos climáticos “limitariam naturalmente” o desenvolvimento dos cultivos pela incapacidade de satisfazer as necessidades fisiológicas nos distintos estágios de crescimento das plantas;
2) a tecnificação da produção por técnicas de irrigação possibilitaria mitigar as condições climáticas desfavoráveis, porém o emprego maciço e constante dessas técnicas poderia

inviabilizar sua efetivação pelo aumento dos custos de produção que reduziriam as margens de lucro dos sojicultores.

Ao analisar as variações têmporo-espaciais dos elementos pluviotérmicos e, consequentemente, das unidades climáticas para anos de maior (safra 2004/2005) e menor (safra 2014/2015) produtividade de soja foi possível verificar que:

1) as unidades 3.P.III e 4.P.I, com maiores altitudes e localizadas à oeste, abrigam a ampla maioria das áreas de lavouras por proporcionarem condições climáticas mais favoráveis para os cultivos, em razão de possuírem maiores volumes pluviométricos e, principalmente, menor temperatura, os quais auxiliam a redução da evapotranspiração e no maior estoque de água no solo;
2) as lavouras presentes nas unidades climáticas de menor altitude da depressão da bacia do Rio São Francisco (setor centro-leste) estiveram sujeitas a maior influência das variações qualiquantitativas dos atributos climáticos, podendo ser exemplificada pela unidade de transição 2.D.III, que ampliou sua área média rumo à leste no ano 2004/2005 e favoreceu climaticamente o desenvolvimento dos cultivos, porém, esteve ausente no ano 2014/2015 devido a expansão da unidade 2.D.II (mais seca e quente) até o limite das áreas de maior altitude à oeste.

As razões que possibilitaram as alterações espaciais das unidades climáticas e, sucessivamente, nos desdobramentos na produtividade da soja nos diferentes anos estão diretamente vinculados à dinâmica climática nas escalas superiores, através da abrangência, ritmo e sucessão dos sistemas atmosféricos na área de estudo. Essa relação foi identificada espacialmente e temporalmente através dos índices de participação mensal, sazonal e anual das massas de ar, pelos diferentes totais acumulados de chuva e as contribuições relativas das massas de ar na gênese pluvial, além dos mecanismos atmosféricos relacionados à duração e intensidade dos períodos de veranico e suas consequências para água armazenada no solo ao longo das fases de crescimento dos cultivos de soja.

Baseado na análise da dinâmica atmosférica é importante ressaltar alguns aspectos identificados nessa análise. Pode-se considerar que a localização geográfica de Unaí está situada numa área “limite” ou de “transição” entre diferentes massas de ar de origem equatorial, tropical e extratropical. Essa condição de interface climática proporcionou, em muitas oportunidades, dificuldade na diferenciação entre os sistemas, devido à intensa descaracterização das suas condições típicas (temperatura, pressão atmosférica, direção do

vento, umidade, nebulosidade e pluviosidade) pelo distanciamento em relação às suas áreas de origem, sobretudo da Massa Tropical Atlântica (mTa) e da Massa Tropical Continental (mTc).

Outro aspecto observado foi a baixa uniformidade na atuação sequencial de uma única massa de ar durante vários dias seguidos para uma mesma localidade, indicando que a área de estudo esteve situada, em muitas ocasiões, próxima aos limites máximos de abrangência espacial desses sistemas. Esse fato pode ser verificado pela constante variação das atuações diárias entre as estações meteorológicas nos transectos analisados, quando foi identificada a inexistência de predomínio espacial de um determinado sistema por longos períodos.

Nos períodos de estiagem houve constante dualidade e alternância entre os sistemas de origem tropical, com a mTc mais atuante na porção ocidental e da mTa mais participativa no setor oriental. A hegemonia temporal e espacial desses sistemas tropicais no período seco só foi quebrada por episódios ligadas às incursões da Frente Polar Atlântica (FPA) e/ou da Massa Polar Atlântica (mPa) – muitas vezes com características higrotérmicas de tropicalização – que influenciaram as microrregiões com diferentes intensidades de alteração da temperatura e umidade.

Mas foi durante as sazonalidades dos períodos chuvosos que ocorreram maior atuação contínua de uma mesma massa de ar, sobretudo quando elas estiveram associadas a subsistemas como os Cavados Atmosféricos (CV) e a Zona de Convergência (ZC), através da maior participação da Massa Equatorial Continental (mEc) e da mTc nos quadrantes oeste, norte e sul, e da mTa no setor leste. Sobre esse aspecto é essencial destacar a fundamental contribuição da ZC para gênese pluvial, através de episódios de ZCOU e ZCAS, por ser um mecanismo que auxilia a convecção e organiza na escala sinótica o transporte de umidade da Região Norte do Brasil para as Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul (BORSATO 2016; 2017).

O emprego da técnica de Análise Rítmica subsidiou metodologicamente a compreensão da influência dos aspectos climáticos nos cultivos de soja, por meio do entendimento das relações entre o ritmo e sucessão das massas de ar nas manifestações dos atributos climáticos e seus impactos no comportamento da água subsuperficial por meio da técnica de Balanço Hídrico Climatológico. Esse arcabouço teórico-conceitual proporcionou correlacionar qualitativamente os mecanismos climáticos responsáveis por deflagrar situações positivas ou negativas para as plantas de soja nos seus diferentes estágios de desenvolvimento fenológico.

O lapso temporal compreendido pela primavera-verão corresponde ao período mais chuvoso e também a todo o ciclo de produção da soja, desde a semeadura até a colheita, quando há forte dependência de situações climáticas favoráveis, sobretudo pluviais, que propiciem constante disponibilidade de água no solo nos diferentes estágios de crescimento dos cultivos.

No ano 2004/2005 o ritmo climático proporcionou as seguintes características em relação à produção de soja:

1) as temperaturas foram próximas da média dos 20 anos e a distribuição dos totais pluviométricos precipitados ocorreram de modo regular no tempo e no espaço;
2) houve maior contribuição diária de episódios de ZC, com intensas participações da mEc e da mTc nos municípios produtores, que em conjunto possibilitaram volumes pluviais mais expressivos;
3) as condições pluviotérmicas permitiram a plena oferta hídrica durante todos as fases de crescimento dos cultivos, quando a Capacidade de Água Disponível (CAD) no solo sempre esteve acima de 50% do volume máximo;
4) o comportamento temporal das curvas de NDVI possuíram valores típicos de cultivos que alcançaram o pleno desenvolvimento em todos os estágios fenológicos de desenvolvimento (Figura 89, p. 182), principalmente nas unidades climáticas 3.P.III e 4.P.I, enquanto que na unidade de transição 2.D.III houve declínio dos valores, o que aponta que nessa unidade climática houve maior susceptibilidade às variações quantitativas e qualitativas dos elementos climáticos nos cultivos de soja;

O conjunto dos fatores elencados corroboram os resultados de alta e muito alta produtividade de soja da safra 2004/2005 para os municípios produtores.

Já o ano 2014/2015 foi marcado pela baixa produtividade em grande parte dos municípios produtores de soja e pelas condições climáticas excepcionais (pluvialmente seco e termicamente quente). Ao analisar a configuração sinótica na América do Sul em consonância com a sucessão e o ritmo de encadeamento das massas de ar entre a segunda quinzena de dezembro de 2014 e o final do segundo decênio de janeiro de 2015, foi possível constatar que as condições atmosféricas foram singulares para esse período do ano, através:

1) da presença de um bloqueio atmosférico formado pelo posicionamento anômalo do ASAS mais próximo à costa da Região Sudeste do Brasil que proporcionou situações duradouras de estabilidade atmosférica;
2) da ampliação da participação dos sistemas tropicais (mTc e braço continentalizado da mTa) que proporcionaram baixíssima pluviosidade e aumento substancial das temperaturas e, consequentemente, elevação da capacidade evaporativa do ar que intensificou a redução da umidade atmosférica;

3) da situação geral de estabilidade do ar que reduziu o transporte advectivo de umidade entre o sul da Amazônia e o oceano Atlântico, ocasionado, principalmente, pela ausência do deslocamento continental e/ou litorâneo de sistemas frontais rumo às baixas latitudes que, consequentemente, impediu a formação de Zonas de Convergências (ZCOU e ZCAS) e inibiu suas contribuições para gênese pluvial em todas as microrregiões;
4) do agravamento progressivo em termos de duração e intensidade dos veranicos agrícolas de oeste para leste, os quais resultaram no aumento gradativo da perda de água no solo por evapotranspiração e redução da CAD para menos de 50% do volume máximo nas estações dos transectos;
5) do *stress* hídrico nas plantas comprovado pelas curvas descendentes de NDVI a partir de janeiro, quando os valores ficaram abaixo de 0,8 no ápice do desenvolvimento fenológico (floração e enchimento dos grãos) das lavouras situadas nas unidades climáticas 2.D.II, 3.P.III e 4.P.I (Figura 105, p. 206), as quais concentravam 88,3% de toda área plantada.

As características agroclimáticas descritas justificam os resultados de baixa produtividade alcançados na safra 2014/2015, pois o *stress* hídrico nas plantas de soja durante esses períodos de desenvolvimento aumentam a probabilidade de redução da produção em razão do abortamento de parte das flores e/ou brotos, além de diminuir a capacidade de enchimento dos grãos por deficiência de umidade no solo (EMBRAPA, 2011).

Desse modo, os resultados obtidos nesse ano agrícola permitem afirmar que a redução da produção de soja esteve diretamente vinculada às excepcionalidades do ritmo e sucessão das massas de ar, que por sua vez, repercutiram na gênese pluvial ao proporcionarem grande quantidade de dias consecutivos de tempo quente e sem chuvas em todas as microrregiões durante a janela temporal compreendida pelo auge do período chuvoso (dezembro e janeiro) e as fases fenológicas mais sensíveis da planta de soja ao *stress* hídrico, os quais comprometeram com maior ou menor intensidade os resultados finais das safras agrícolas de cada município produtor.

A constatação sobre a relação causal entre os impactos negativos decorrentes de eventos excepcionais ligados ao ritmo climático no desenvolvimento fenológico da soja e, por conseguinte, nos resultados finais da produção, já foram abordados em diversos trabalhos das áreas de agronomia, climatologia agrícola e agrometeorologia, podendo citar, por exemplo, Cunha et al. (1998), Mariano et al. (2006), Mariano (2010), Embrapa (2011), Silva (2013), Morando et al. (2014) e Carmello (2016).

Diante dos argumentos e resultados desenvolvidos nesse trabalho percebe-se que a variabilidade espacial e temporal dos fatores e elementos climáticos ainda exercem forte influência na espacialização das áreas produtoras e nos resultados finais de produção de soja, sobretudo para os cultivos que não utilizam técnicas de mitigação hídrica (irrigação) em momentos de adversidade climática.

Por fim, a partir da análise e interpretação das características pluviotérmicas conclui-se que a área de estudo está situada numa área de transição climática, onde a natureza da variabilidade têmporo-espacial dos fatores estáticos e dinâmicos do clima organizam e regionalizam territorialmente a produção de soja nos municípios produtores de soja no entorno de Unaí. Partindo dessa premissa, o modelo agrícola praticado nas áreas produtoras esteve fundamentado na produção de larga escala aliada ao menor custo produtivo, e, por isso, acabou sendo espacialmente limitado pelas condições climáticas favoráveis aos cultivos. Os maiores contrastes de produtividade estiveram atrelados ao ritmo de sucessão e à abrangência espacial das massas de ar que, por sua vez, influenciaram positivamente (2004/2005) ou negativamente (2014/2015) o ritmo pluvial e os resultados finais das safras de soja em cada localidade.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. **Os domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AGÊNCIA BRASIL. **Agronegócio começa a contabilizar perdas com a falta de chuva**. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-01/escassez-de-chuvas-ja-mostra-prejuizos-no-agronegocio-brasileiro>. Acesso em: 17 abr. 2020.

AGRITEMPO. **Glossário agrometeorológico**. Disponível em: <www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Glossario/index.jsp>. Acesso em: 17 set. 2018.

ALMEIDA, H. A.; FREITAS, R. C.; SILVA, L. Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba através da técnica dos Quantis. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 30, p. 217-232, 2013. Disponível em: <www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Glossario/index.jsp>. Acesso em: 20 jul. 2018.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2019.

ALVES, L. M. Clima da região centro-oeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 236-241.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C.; LIMA, F. J. L.; GUEDES, R. V. S. Aplicação da análise fatorial em componentes principais a dados de precipitação no estado do Amapá. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 27, n. 1, p. 107-119, jan-mar 2013. Disponível em: < https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228792>. Acesso em: 17 mai. 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Hidroweb**: sistema de informações hidrológicas. Disponível em: <www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 18 jan. 2018.

_____. **Pivôs mapeados**: sistema de informações hidrológicas. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/01b2443a3b6b44f1acae7561c4041ebf_0/>. Acesso em: 15 jun. 2019.

AOUAD, M. S. **Tentativa de classificação climática para o Estado da Bahia**: uma análise quantitativa dos atributos locais associada a análise qualitativa do processo genético. Rio de Janeiro: IBGE; SUPREN, 1983. Disponível em: <https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv82355.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial**. 2010. 319 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-89XH5T>. Acesso em: 14 jan. 2020.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 12 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, v.13, p.1-27, 1972.

BEZERRA, F. A. Análise Fatorial. In: CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M (Org.). **Análise Multivariada**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

BIERAS, A. R. **Variabilidade e tendência climática e a produtividade da soja no estado de São Paulo**. 2006. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/104322/bieras_ar_dr_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 abr. 2017.

BISCARO, G. A. **Meteorologia agrícola básica**. Cassilândia: Unigraf, 2007. Série engenharia, volume I. Disponível em: <www.do.ufgd.edu.br/guilhermebiscaro/arquivos/meteorologia.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista**: uma análise climatológica aplicada. 2000. 264 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/102872/boin_mn_dr_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 abr. 2017.

BORSATO, V. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Curitiba: Editora CRV, 2016.

_____. A dinâmica atmosférica no centro sul do Brasil e a estacionalidade. **Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, Maringá, v. 9, n. 2, 3-27, 2017. Disponível em: <www.periodicos.uem.br/laboratorio/ojs/index.php/Geoinga/article/download/33354/20826>. Acesso em: 01 abr. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portarias do zoneamento agrícola de risco climático**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/portarias/>. Acesso em 18 mai. 2016.

CÂMARA, G. M. S. Fisiologia da produção de soja. In: _____. **Soja & cia**. Piracicaba: O Coordenador, 2009, p. 150-177.

CANAL RURAL. **Saiba como os fenômenos El Niño e La Niña afetam a agricultura brasileira**. Disponível em: <https://tempo.canalrural.com.br/noticias/2015-09-12/saiba-como-os-fenomenos-el-nino-e-la-nina-afetam-a-agricultura-brasileira>. Acesso em: 22 set. 2019.

CARMELLO, V. **Análise da variabilidade das chuvas e sua relação com a produtividade da soja na vertente paranaense da bacia do rio Paranapanema**. 2013. 123f. Dissertação (Mestrado). Curso de Geografia, Universidade Estadual Paulista – UNESP,, Presidente Prudente, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/126285>. Acesso em: 11 nov. 2019.

CARVALHO, J. L. A soja e os novos desafios mundiais. In: CÂMARA, G. M. S. **Soja & cia**. Piracicaba: O Coordenador, 2009, p. 93-105.

CASTRO, S. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.8, 2010. Disponível em: <http://ref.scielo.org/cdmw4j>. Acesso em: 23 abr. 2017.

CAVALCANTI, I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 317-335.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Revista Climanálise – Edição Especial de 30 anos**, São José dos Campos, p. 55-61, 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/Coelhoetal.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2019.

CONAB. **Série histórica da produção de soja no Brasil**. Disponível em: <www.conab.gov.br/info-agro/safras/>. Acesso em: 01 out. 2018.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. In: ROSS, J. L. S. (Org.). **Geografia do Brasil**. 5.ed. São Paulo: Edusp, 2005. p. 67-208.

COSTA, J. **Cultura da soja**. Porto Alegre: I. Manica, 1996.

CPTEC. **Boletim Técnico**. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>. Acesso em: 05 jul. 2019a.

_____. **Legenda da análise sinótica**. Disponível em: <https://s0.cptec.inpe.br/webcptec/sites/tempo/assets/img/legendas/legenda_sinoticaN.jpg>. Acesso em: 03 ago. 2019.

_____. **Boletim Climánalise: volumes 19 (nº7 a 12), 20 (nº1 a 6) e 29 (nº7 a 12)**. Disponível em: < http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>. Acesso em: 01 fev. 2020a.

_____. **InfoClima**. Disponível em: <http://infoclima1.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 01 fev. 2020b.

_____. **Síntese Sinótica Mensal**. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/noticias/faces/noticias.jsp?idConsulta=&idQuadros=109>. Acesso em: 01 fev. 2020c.

_____. **Índice de precipitação padronizado (SPI)**. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt>. Acesso em: 03 abr. 2020d.

CUNHA, G. R.; HASS, J. C.; DALMAGO, G. A.; PASINATO, A. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 111-119, 1998.

DIAS, P. L. S.; MARENGO, J. A. Águas atmosféricas. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B. TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 65-117.

DIDAN, K.; MUNOZ, A. B.; SOLANO, R.; HUETE, A. **MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series)**. The University of Arizona, 2015. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/documents/103/MOD13_User_Guide_V6.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2019.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33). Tradução de H.R. Gheyi, A.A. de Souza, F.A.V. Damasco, J.F. de Medeiros.

DREW, D. **Processos interativos**: homem-meio ambiente. 2a. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1989.

DSA/CPTEC/INPE. **Banco de imagens dos satélites meteorológicos GOES**. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp>. Acesso em: 03 fev. 2018.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

ESRL/NOAA. **6-Hourly NCEP/NCAR reanalysis data composites**. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/hour/>. Acesso em: 22 jul. 2019.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **World agricultural production** - September 2018. Disponível em: <www.usda.gov>. Acesso em: 01 out. 2018.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001. Disponível em: <www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/cap4.pdf>. Acesso em: 30 set. 2017.

FERREIRA, D. B. **Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil**. 2005. 125f. Dissertação (Mestrado). Curso de Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

_____. **Análise da variabilidade climática e suas consequências para a produtividade da soja na região sul do Brasil**. 2010. 171 f. Tese (Doutorado). Curso de Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18/2010/11.11.18.05/doc/>. Acesso em: 19 mar. 2018.

FIALHO, E. S. A pesquisa climatológica feita por geógrafos brasileiros. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v.6, n.6, 2010. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/download/25618/17164>. Acesso em: 23 abr. 2017.

FREDERICO, S. **O novo tempo do cerrado**: expansão dos fronts agrícolas e controle do sistema de armazenamento de grãos. São Paulo: Annablume; Fapesp, 2010.

GALVANI, E.; LUCHIARI, A. Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido. In: _____; LIMA, N. G. B. (Org.). **Climatologia aplicada**: resgate aos estudos de caso. 1. Ed. Curitiba: CRV, 2012. p. 4-29.

GAN, M. A.; SANTOS, L. F. S.; LIMA, J. R. A.; AFONSO, J. M. S.; SILVA, A. B. Monção da América do Sul. **Revista Climanálise – Edição Especial de 30 anos**, São José dos Campos, p. 1-6, 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/ganetal.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2019.

GARCIA, F. F. **Manual de climatologia aplicada**: clima, medio ambiente y planificacion. Madrid: Editorial Sinteses, 1996.

GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. C. M. N. **Quantificação em geografia**. São Paulo: Difel, 1981.

GIOVANNETI, G.; LACERDA, M. **Dicionário de geografia**. São Paulo: Companhia Melhoramentos, 1996.

GOMES, P. **A soja**. 5. ed. São Paulo: Nobel, 1986.

GONÇALVES, E. G.; LORENZI, H. **Morfologia vegetal**: organografia e dicionário ilustrado de morfologia das plantas vasculares. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2007.

GRIMM, A. M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 353-374.

HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., RYAN, P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**. v. 4, n. 1, 2001. Disponível em: <https://folk.uio.no/ohammer/past/>. Acesso em: 07 ago. 2018

HERNANDEZ, F. B. T. et. al. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira D'Oeste, estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 21-30, 2003. Disponível em: <www.irrigaterra.com.br/pdf/REA_veranico.PDF>. Acesso em: 25 fev. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE; 2002. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf/>. Acesso em: 28 set. 2018.

_____. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE; 2004. 3ª Edição. Escala 1:5.000.000. Disponível em:

<ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

_____. **Mapa de unidades de relevo do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE; 2006. 2ª Edição. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/brasil/relevo_2006.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

_____. **Malha digital de municípios na escala de 1:250.000**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2017/Brasil/BR/br_municipios.zip>. Acesso em: 15 dez. 2017.

_____. **Cobertura e uso da terra na escala de 1:250.000**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/cobertura_e_uso_da_terra/>. Acesso em: 28 set. 2018a.

_____. **Produção Agrícola Municipal:** soja. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>. Acesso em: 28 set. 2018b.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: 18 jan. 2018a.

_____. **Normais climatológicas provisórias 1981-2010**. Disponível em: <www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas/>. Acesso em: 18 jan. 2018b.

_____. **Boletim Agroclimatológico Mensal: volumes 48 (nº 7-12) e 49 (nº 1-6)**. Disponível em: <www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=agrometeorologia/boletinsAgroclimatologicos>. Acesso em: 01 fev. 2020a.

_____. **Balanço hídrico de cultivo e perda de produtividade**. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhc>. Acesso em: 03 abr. 2020b.

JÁCOMO, C. A. **Modelos geoestatísticos espaço-tempo aplicados a dados pluviométricos no oeste do estado de São Paulo**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Cartográfica, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/86791/jacomo_ca_me_prud.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 abr. 2017.

JARDIM, C. H. **Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas**. 2007. 357 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/287399>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____. A representação gráfica dinâmica como subsídio à elaboração da carta de unidades climáticas. **Geografias**, Belo Horizonte, n.10, p.140-151, jan./jun. 2010. Disponível em: <http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geografias/article/download/506/377>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____. Aspectos Multiescalares e Sistêmicos da Análise Climatológica. **Geografias**, Belo Horizonte, Edição Especial - III Seminário de Geografia Reflexões sobre o III Seminário de Geografia (III SEGEO), p.40-52, 2015. Disponível em: <http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geografias/article/download/638/498>. Acesso em: 23 abr. 2017.

JOHANN, J. A.; BECKER, W. R.; URIBE-OPAZO, M. A. MERCANTE, E. Uso de imagens do sensor orbital MODIS na estimação de datas do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja para o estado do Paraná-Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p.126-142, Fev. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162016000100126&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 27 jan. 2020.

JORNAL OPÇÃO. **Forte estiagem causa prejuízo total de R$ 2 bilhões na agricultura goiana**. Disponível em: </www.jornalopcao.com.br/reportagens/forte-estiagem-causa-prejuizo-total-de-r-2-bilhoes-na-agricultura-goiana-28508/>. Acesso em: 17 abr. 2020.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Variabilidade decenal e multidecenal. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 375-383.

KODAMA, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of the subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 70, n. 4, p. 813-836, ago. 1992. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj1965/70/4/70_4_813/_article>. Acesso em: 27 jan. 2019.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217-231. 1988. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj1965/70/4/70_4_813/_article>. Acesso em: 27 jan. 2019.

MACHADO, F. L. V. **O clima de Teófilo Otoni (MG): integração escalar, tipos de tempo e impactos ambientais**. 2016. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-B2RJUX>. Acesso em: 14 jan. 2020.

MANOSSO, F. C. A produtividade de soja, trigo e milho e suas relações com a precipitação pluviométrica no município de Apucarana-PR no período de 1968 a 2002. **Geografia**, Londrina, v. 14, n. 1, p. 87-98, 2005. Disponível em: <www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/download/6750/6091>. Acesso em: 4 jun. 2017.

MAPBIOMAS. **Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <http://www.mapbiomas.org>. Acesso em: 01 out. 2019.

MARENGO, J.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M.; CUARTAS, A.; ALVES, L.; MENDIONDO, E.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31-44, 2015.

MARIANO, Z. F. Precipitações pluviais e a cultura da soja em Goiás. **Mercator**, Fortaleza, v. 09, n. 1, p. 121-134, 2010. Disponível em: <www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/455>. Acesso em: 25 abr. 2017.

_____; SANTOS, M. J. Z.; SCOPEL, I. A importância das chuvas para a produtividade da soja na microrregião do sudeste de Goiás (GO). In. GERARDI, L. H. O.; CARVALHO, P. F. (Org.) **Geografia**: ações e reflexões. Rio Claro: Unesp/IGCE; AGETEO, 2006. P. 387-398

MARINHA DO BRASIL, Hidrografia da Marinha. **Cartas sinóticas**. Disponível em: <www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>. Acesso em 21 set. 2018.

MATTOS, M. P. **Soja**: a mais importante oleaginosa da agricultura moderna. São Paulo: Cone, 1987.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo**: Do neolítico à crise contemporânea. São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2009.

MESQUITA, C. M. Colheita da soja na região dos cerrados. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Org.). **Cultura de soja nos Cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993, p. 417-434.

MONTEIRO, C. A. F. Notas para o estudo do clima do centro-oeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 03-46, 1951. Disponível em: <http://www.abclima.ggf.br/imagens/pdf.png>. Acesso em 21 set. 2018.

_____. Da necessidade de um caráter genético à classificação climática: algumas considerações metodológicas a propósito do estudo do Brasil Meridional. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 31, n. 57, p. 29-44, 1962. Disponível em: <www.abclima.ggf.br/arquivos/obrasclimatologia/40/Da%20necessidade%20de%20um%20carter%20gentico%20....pdf>. Acesso em 21 set. 2018.

_____. Clima. In: CATALDO, D. M. **Geografia do Brasil**: grande região sul. Tomo I. Rio de Janeiro: IBGE, 1963, p.117-169.

_____. 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. 61, p. 59-69, 1964. Disponível em: <www.abclima.ggf.br/arquivos/obrasclimatologia/44/Sobre%20um%20ndice%20de%20participao%20....pdf>. Acesso em 21 set. 2018.

_____. A Frente Polar Atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil. **Teses e Monografias**, São Paulo, n.1, Instituto de Geografia da USP, 1969, 68p. Disponível em: <www.abclima.ggf.br/arquivos/obrasclimatologia/31/A%20Frente%20Polar%20Atlntica%20(46).pdf>. Acesso em 21 set. 2018.

_____. **Análise rítmica em climatologia**: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. São Paulo: IG, USP, 1971. (Série Climatologia, 1).

Disponível em: <www.abclima.ggf.br/arquivos/obrasclimatologia/4/Climatologia%201.pdf>. Acesso em 21 set. 2018.

_____. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de atlas.** São Paulo: Instituto de Geografia - Universidade de São Paulo, 1973.

_____. **Teoria e Cima Urbano**. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975. Disponível em: <www.abclima.ggf.br/arquivos/obrasclimatologia/29/TEORIA%20E%20CLIMA%20URBANO_LD_1975.pdf>. Acesso em 21 set. 2018.

_____. **Fatores climáticos na organização da agricultura nos países tropicais em desenvolvimento - conjunturas sobre o caso brasileiro**. São Paulo: IGEOG-USP, 1981 (Série Climatologia n.º 10). Disponível em: <www.abclima.ggf.br/arquivos/obrasclimatologia/13/climatologia%2010.pdf>. Acesso em 21 set. 2018.

_____. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográfico de clima urbano no Brasil. **Geosul**, Florianópolis, n.9. 1990. p. 7-19. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/download/12737/11903>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____. **Clima e excepcionalismo**: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: UFSC, 1991.

_____. O estudo geográfico do clima. **Cadernos Geográficos**, Florianópolis, n.1, 1999. Disponível em: <http://cadernosgeograficos.ufsc.br/files/2016/02/caderno-geografico-01.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____. **Geossistemas**: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.

_____. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. In: **Revista Ra'ega: o espaço geográfico em análise**, Curitiba, n.5, 2001. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/18325>. Acesso em: 23 jan. 2020.

_____ (Org.); MENDONÇA, F. A; ZAVATTINI, A. F.; SANT'ANNA NETO, J. L. **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. Campinas: Alínea, 2015.

MORAES, A. C. R.; COSTA, W. M.; TARIFA, J. R. Tipos de tempo e balanço de energia na cidade de São Paulo. **Climatologia**, São Paulo, n.8. 1977. Disponível em: <www.abclima.ggf.br/arquivos/obrasclimatologia/11/Climatologia%2008.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

MORANDO, R.; SILVA, A. O.; CARAVALHO, L.C.; PINHEIRO, M. P. M. A. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, número especial, p. 114-129, 2014. Disponível em: <www.dca.uem.br/V3NE/10.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2018.

NASCIMENTO, D. T. F.; NETO, J. M. S.; NUNES, L. C. Definição dos anos-padrão para o estudo da pluviometria do estado de Goiás e do Distrito Federal. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, Ituiutaba, v. 6, n. 1, 272-290, 2015. Disponível em: <www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/download/28872/18015>. Acesso em: 23 abr. 2017.

NEVES, G. Z. F. **Distribuição geográfica das chuvas no Estado de Goiás e Distrito Federal: dinâmica e aplicações nos estudos ritmicos**. 2018. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia, , Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-22052018-174146/publico/TeseGustavoZenDeFigueiredoNeves.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2020.

NIMER, E. Um modelo metodológico da classificação de climas. **Revista Brasileira de Geografia - IBGE**, Rio de Janeiro, n. 4, ano 41, p. 59-89, out/dez.1979. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1979_v41_n4.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=281099&view=detalhes>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____; BRANDÃO, A. M. P. M. **Balanço hídrico e clima da região dos cerrados**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=280951>. Acesso em: 23 abr. 2017.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **GOES Space Environment Monitor**. Disponível: <www.ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/>. Acesso em: 27 nov. 2017.

_____. **Teleconnections**. Disponível em: <www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/>. Acesso em: 20 jul. 2018.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS. **Soja: Safra 2014/15 deve registrar quebra de até 5 milhões de t com clima seco**. Disponível em: <www.noticiasagricolas.com.br/noticias/soja/151538-soja-safra-201415-deve-registrar-quebra-de-ate-5-milhoes-de-t-com-clima-seco.html>. Acesso em: 17 abr. 2020.

NUNES, L. H.; VICENTE, A. K.; CANDIDO, D. H.; Clima da região sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 243-257.

OLIVEIRA, A. G. **Questão do valor do clima: reflexões em torno de um valor conceitual para a precipitação pluviométrica na produção agrícola**. 2010. 150 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010a. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15930/1/aristeu.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2018.

OMENA, M. S. **Conjunto de ferramentas computacionais para análises agroclimáticas**. Dissertação (Mestrado - Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goytacazes, RJ. 106 p, 2014.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; KIIHL, R. A. S.; ALMEIDA, L. A. Desenvolvimento de cultivares de soja na região Norte e Nordeste do Brasil. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Org.). **Cultura de soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993, p. 255-263.
PÉDELABORDE, P. **Introduction a l'étude scientifique du climat**. Paris: Société d'Édition d'Enseignement Supérieur, 1991.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. Disponível em: <www.esalq.usp.br/departamentos/leb/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2018.

PERIN, E. B.; VIANNA, L. F. N.; RICCE, W. S.; MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos eficientes. **Revista Geografia**, Rio Claro, v. 40, n. 2, p. 269-289, 2015. Disponível em: <www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/download/11139/7844>. Acesso em: 23 abr. 2017.

PINKAYAN, S. **Conditional probabilities of ocurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area**. Colorado: State University, Boulder-Co, 1966. (Hidrology papers, n. 12). Disponível em: < https://mountainscholar.org/handle/10217/61293>. Acesso em: 30 set. 2018.

PINTO, J. E. S. S.; AGUIAR NETTO, A. O. A. **Clima, geografia e agrometeorologia: uma abordagem interdisciplinar**. São Cristóvão: Editora UFS; Aracaju: Fundação Oviêdo Teixeira, 2008.

PONS, M. A. **História da Agricultura**. Bento Gonçalves: Maneco, 1998

POTAFOS. **How a soybeans plant develops**. Ames, Iowa: Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service, 1997.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G (Org.). **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, DF: INMET, 2009.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/rbmet/v25n2/a04v25n2.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética**, n.45-46, p.288-294, 1993.

_____. A climatologia dinâmica na perspectiva da análise rítmica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 12: p. 47-62, jul./dez. 2000. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/download/28538/pdf_127>. Acesso em: 23 abr. 2017.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 216 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em:

<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/07.02.14.17/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____; RISSO, J.; EPIPHANIO, R.D.V.; RUDORFF, B.F.T.; FORMAGGIO, A.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; FERNANDES, S.L. Estimativa da área de soja no Mato Grosso por meio de imagens MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009. Natal. **Anais**... São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p.387-394. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.18.50.57/doc/387-394.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2018.

RODRIGUES, W; VASCONCELOS, S. J.; BARBIERO, A. K. Análise da efetividade socioeconômica do PRODECER III no município de Pedro Afonso, Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n° 4, p. 301-306, out/dez. 2009. Disponível em: <www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/5581/5860>. Acesso em: 19 mai. 2018.

ROGERSON, P. A. **Métodos estatísticos para geografia**: um guia para o estudante. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, p.133-137, 1998. Disponível em: <www.sbagro.org.br/bibliotecavirtual/arquivos/171.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

ROSA, E. B.; PEZZI, L P.; QUADRO, M. F. L.; BRUNSELL, N. Automated Detection Algorithm for SACZ, Oceanic SACZ, and Their Climatological Features. **Frontiers in Environmental Science,** v. 8, p. 1-15, 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2020.00018/full>. Acesso em: 23 mar. 2020.

ROSSATO, M. A. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 253 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sulva, Porto Alegre-RS, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/32620>. Acesso em: 14 jan. 2020.

SACRAMENTO NETO, O. B.; ESCOBAR, G. C. J.; SILVA, P. E. D. Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estados Climáticos - CPTEC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém-PA. **Anais**... Belém-PA, 2010. Disponível em: <http://www.dca.iag.usp.br/material/ritaynoue/aca-0523/2014_1oS_SIN2/ZCASeZCOU_SacramentoNeto.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2019.

SALVI, L. L. Tipologia climática do estado de São Paulo segundo técnicas de quantificação. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 3, 37-61, 1984. Disponível em: <www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47085>. Acesso em: 19 dez. 2018.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo Climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista**. 1990. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

_____. **As chuvas no estado de São Paulo**: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. 1995. 252 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Curso de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

_____. Da complexidade física do universo ao cotidiano da sociedade: mudança, variabilidade e ritmo climático. **Terra Livre**, São Paulo, v. 1, n. 20, p. 51-63, 2003. Disponível em: <www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/download/325/308>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____. História da climatologia no Brasil: gênese e paradigmas do clima como fenômeno geográfico. **Cadernos Geográficos (UFSC)**, Florianópolis, v.7, p. 1-124, 2004. Disponível em: <http://cadernosgeograficos.ufsc.br/files/2016/02/completo-7.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

SANTOS, J. W. M. C. **Clima e produtividade da soja nas terras de cerrado do sudoeste de Mato Grosso**. 2002. 394 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

_____. Ritmo climático e sustentabilidade sócio-ambiental da agricultura comercial da soja no sudeste de Mato Grosso. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, São Paulo, p. 61-82, 2005. Disponível em: <www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_17/>. Acesso em: 19 jun. 2011. Disponível em: <www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47275/51011>. Acesso em: 23 abr. 2017.

SCHNEIDER, H.; SILVA, C. A.; SANTOS, V. A. A escolha de anos padrão como base para identificação do regime das chuvas na porção centro sul de Mato Grosso do Sul. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 262-270, 2012. Disponível em: <www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2323/2177>. Acesso em: 23 abr. 2017.

SEABRA, M. S.; ROCHA, C. H. E. D.; MENEZES, W. F. Comparação dos efeitos dos eventos ZCAS de janeiro de 2006 nas cidades do Rio de Janeiro e Brasília. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006. Florianópolis-SC. **Anais**... Florianópolis-SC, 2009. Disponível em: <http://www.cbmet.org.br/cbm-files/14-4ff88acf08eb1b5f5bf3d3a7c57554c6.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

SEDIYAMA, G. C.; MELO JUNIOR, J. C. F. Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no estado de Minas Gerais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 6, n. 1, p. 57-61, jan./dez. 1998.

SILVA, A. A. F. **Variações do ritmo pluvial e a produção de soja no município de Pedro Afonso-TO**. 2013. 227 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2013.

_____; JARDIM, C, H. Aplicação de técnicas de preenchimento de falhas de dados de pluviosidade mensal e anual para o noroeste do estado de Minas Gerais - Brasil. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 15, n.2, p.83-106, jul./dez. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/16058>. Acesso em: 20 dez. 2019.

SILVA, C. A. F. A rede política territorial da soja em Pedro Afonso (TO). **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 4, n. 7, p. 91-107, jan./jul. 2010. Disponível em: <http://revista.ufrr.br/index.php/actageo/article/view/258> Acesso em: 19 mar. 2018.

SILVA, M. R.; MOURA, F. P.; JARDIM, C. H. O diagrama de caixa (Box Plot) aplicado à análise da distribuição temporal das chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, p. 23-40, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/233949/27420>. Acesso em: 23 abr. 2017.

SILVESTRE, M. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; FLORES, E. F. Critérios estatísticos para definir anos-padrão: uma contribuição à Climatologia Geográfica. **Formação (Presidente Prudente)**, v. 2, p. 23-53, 2013. Disponível em: <http://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/download/2360/2398>. Acesso em: 23 abr. 2017.

SORRE, M. Adaptação ao meio climático e biossocial: geografia psicológica. (1951). In: MEGALE, J. F. (Org.) **Max Sorre**: geografia. São Paulo: Ática, 1984 (Série Grandes Cientistas Sociais), p. 30-86.

SOUZA, L. R. S.; AMANAJÁS, J. C.; SILVA, A. P. N. BRAGA, C. C.; CORREIA, M. F. Determinação de padrões espaço-temporal e regiões homogêneas de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 2, 265-280, abr./jun. 2011. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=647>. Acesso em: 19 dez. 2018.

SOUZA, P. I. M; URBEN FILHO, G. Manejo da cultura da soja sob cerrado: época, densidade e profundidade de semeadura. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Org.). **Cultura de soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993, p. 267-295.

SPEHAR, C. R.; MONTEIRO, P. M. F. O.; ZUFFO, N. L. Melhoramento genético da soja na região centro-oeste. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Org.). **Cultura de soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993, p. 229-251.

TARIFA, J. R.; MONTEIRO, C. A. F.; Balanço de energia em sequência de tipos de tempo. Uma avaliação no oeste paulista (Presidente Prudente) 1968-1969. **Climatologia**, São Paulo, n.5, 1972. Disponível em: <www.abclima.ggf.br/arquivos/obrasclimatologia/8/climatologia%205.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____. **Sucessão de tipos de tempo e variação do balanço hídrico no extremo oeste paulista**. São Paulo, Série Teses e Monografias, n.8. IGEOG/USP, 71p. 1973. Disponível em: <www.abclima.ggf.br/arquivos/obrasclimatologia/46/Sucessode%20Tipos%20de%20Tempo%20E%20Variao%20(64).pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____. **Os climas nos maciços litorâneos da Juréia-Itatins**: um ensaio de ritmanálise. 2002. 477 f. Tese (Livre Docência). Curso de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

_____; ARMANI, G. Os climas “naturais”. In: TARIFA, J. R.; AZEVEDO, T. R. (Orgs.) **Os climas na cidade de São Paulo**: teoria e prática. São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura e Extensão. Universidade de São Paulo: Laboratório de Climatologia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 2001a. Cap. 2. p. 34-46. (Geousp - Coleção Novos Caminhos, 4).

_____;_____. Os climas urbanos. In: TARIFA, J. R.; AZEVEDO, T. R. (Orgs.) **Os climas na cidade de São Paulo**: teoria e prática. São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura e Extensão. Universidade de São Paulo: Laboratório de Climatologia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 2001b. Cap. 3. p. 47-70. (Geousp - Coleção Novos Caminhos, 4).

TAVARES, A. C., Critérios de escolha de anos padrões para análise rítmica. **Geografia**, Rio Claro, v.1, n.1, p.79-87, 1976. Disponível em: <www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/14729/11369>. Acesso em: 28 ago. 2018.

TETILA, J. L. C. **Ritmo pluviométrico e o cultivo da soja:** uma análise geográfica aplicada ao sul do Mato Grosso do Sul. 1983. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, n. 1, p.55-94, 1948. Disponível em: <www.unc.edu/courses/2007fall/geog/801/001/www/ET/Thornthwaite48-GeogrRev.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. Disponível em: <https://oregondigital.org/catalog/oregondigital:df70pr001#page/6/mode/1up>. Acesso em: 23 abr. 2017.

TONIOLO, L.; MOSCA, G. **O cultivo da soja**. Lisboa: Editorial Presença, 1991.

TUCCI, C. 2000. (Org.) **Hidrologia - ciência e aplicação**. Editora da Universidade, ABRH, Porto Alegre.

USGS. **Earth explorer**. Disponível em:<ww.earthexplorer.usgs.gov>Acesso em: 18 jan 2018

_____. **NASA land processes distributed active archive center: data MODIS**. Disponível em:<https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD13Q1.006/>Acesso em: 23 jun 2019.

VIANELLO, R. L.; SEDIYAMA, G. C.; FERNANDES, A. S.; GEMIACKI, L. Variabilidades climáticas e seus impactos na agricultura de Minas Gerais. **Informe agropecuário**, v. 29, n. 246, p. 19-36, set./out. 2008. Disponível em: <http://www.epamig.br/download/informe-agropecuario-246-efeito-das-mudancas-climaticas-na-agricultura-2008/>. Acesso em: 23 out. 2017.

WMO, World Meteorological Organization. **Note on the standardization of pressure reduction methods in the international network of synoptic stations:** report of a working group of the commission for synoptic meteorology. Genebra, 1964. (Technical note, n. 61;

WMO, n. 154; TP, n. 74). Disponível em: <https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=2849>. Acesso em: 27 set. 2018.

_____. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. Genebra, 1989. (WMO. Technical document, n. 341; WCDP, n.10). Disponível em: <www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-481-WMO-341.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

ZANDONADI, L. **As chuvas na bacia do Paraná: aspectos temporais, espaciais e rítmicos**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/95595>. Acesso em: 23 abr. 2017.

ZAVATTINI, J. A. **Estudos do clima no Brasil**. Campinas: Alínea, 2004.

_____. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul**: estudo geográfico com vista à regionalização climática [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

_____; BOIN, M. **Climatologia geográfica**: teoria e prática de pesquisa. Campinas: Alínea, 2013.

GLOSSÁRIO

Esse glossário possui termos técnicos referentes aos aspectos da morfologia vegetal da Soja, embasado nas definições de Gonçalves e Lorenzi (2007).

Adventícias, Raízes (l. *adventitius*= vindo de fora): diz-se da raiz que surge em qualquer parte da planta que não seja oriunda da radícula. Geralmente surge no caule, tanto nos nós quanto nos entrenós. (p. 76).

Autótrofo (gr. *autos*= a si próprio; gr. *trophein*= nutrir): organismos capazes de fixar a energia livre capturada no ambiente (usualmente a luz), utilizando como matéria prima moléculas com baixo teor energético (p. 101).

Axila (l. *axilla*= sovaco, axila): ângulo formado pelo encontro de dois eixos ou estruturas. (p. 102).

Cálice (l. *cálix*= copo sem asa para dentro): verticilo floral vegetativo, geralmente de aspectos intermediários entre as folhas apicais do ramo e as pétalas. Cada unidade do cálice é chamada de sépala. O cálice usualmente envolve o botão floral em desenvolvimento (p. 122).

Caule (l. *caulis*= haste, talo): o caule é a estrutura que intermedia o sistema fixador-absortivo (raízes) e o sistema fotossintético (folhas), sendo o eixo principal da planta. O caule é sempre dividido em nós e entrenós (p. 132).

Corola (l. *corolla*, diminutivo de l. *corona*= pequena coroa): estrutura usualmente responsável pelo aspecto atrativo para polinizadores, sendo geralmente a porção mais conspícua de uma flor. Cada unidade da corola é chamada de pétala (p. 154).

Cotilédone (gr. *kotyledon*= cavidade ou copo): primeira ou primeiras folhas de um embrião, ocasionalmente armazenando reservas para a germinação. Normalmente, os cotilédones estão solitários ou em dupla, mas podem estar em maior número em grupos gimnospérmicos (p. 156).

Emergência (l. *emergere*= emergir, aflorar): diz-se de todo e qualquer apêndice formado por uma projeção da epiderme. Por definição, a emergência é uma protuberância no corpo do vegetal que não possui vascularização (p. 182).

Epígeo (gr. *epí*= sobre; gr. *gêo*= terra): sementes que se elevam acima do solo na germinação (p. 187).

Estame (l. *stamine*= fios): é a unidade do androceu, que corresponde a um microesporófilo. É composto por um filamento denominado filete e uma região polinífera chamada antera (p. 203).

Folhas primárias (l. *folium*= folha ou folhagem): aparecimento das primeiras estruturas aéreas que possuem crescimento determinado e com função principal de órgão fotossintético (p. 225).

Folhas trifoliadas (gr. tri=três; l. *folioum*, diminutivo de folha): diz-se de uma folha composta que apresenta três folíolos (p. 393).

Hilo (l. *hilum*= ninharia, insignificância): região do óvulo onde o funículo se insere. Usualmente permanece como uma cicatriz na semente madura. A forma e coloração deste podem variar bastante entre as espécies (p. 251).

Hipocótilo (gr. *hypos*= abaixo; gr. *kotyledon*= cavidade ou copo): termo que designa o eixo embrionário que se estende da inserção do(s) cotilédone(s) até a radícula. O hipocótilo pode ramificar-se e crescer, e até originar o eixo principal da planta (p. 253).

Micrópila (gr. *mikrós*= pequeno; gr. *pyle*= portão): abertura nos integumentos do óvulo que permite o contato do saco embrionário com o ar no interior do ovário (p. 292).

Nó (l. *nodus*= nó, grumo): região do caule onde surgem as folhas (p. 298).

Nódulos radiculares (l. *nodulus*= pequeno nó): termo que designa porções intumecidas das raízes, que surgem em resposta à infecção por bactérias capazes de fixar nitrogênio atmosférico (N^2). São estruturas comuns em leguminosas (p. 299).

Ovário (l. *ovarium*= porção onde os “ovos são produzidos e mantidos): termo que designa uma região basal ou sub-basal do pistilo usualmente dilatada, dentro dos quais desenvolvem-se os óvulos. Usualmente, o ovário desenvolve-se no fruto após a polinização (p. 307).

Óvulo (l. *ovulum*, diminutivo de l. *ovum*= ovo): é uma estrutura formada pelo gametófito feminino e uma série de estruturas acessórias esporofíticas. É o precursor ontogenético da semente (p. 307).

Pedúnculo (l. *pendunculus*= pequeno pé): nome dado ao eixo que porta cada flor ou o eixo que porta uma inflorescência. (p. 321).

Pistilo (l. *pistillum*= pilão): estrutura formada pela soldadura de um ou mais carpelos, representando o gineceu. O pistilo é composto de ovário, estilete (ocasionalmente pouco desenvolvido) e o estigma (p. 334).

Plântula: indivíduo gerado dentro da semente, que ao romper com o tegumento, tornando-se plântula (p. 182).

Radícula (l. *radícula*, diminutivo de l. *radix*= raiz): termo que designa uma raiz embrionária, presente na extremidade inferior do embrião. Geralmente é a primeira estrutura a emergir de uma semente (p. 353).

Semente (l. *sêmen*= grão ou sementes): estrutura formada pelo ovário desenvolvido após a polinização. Transporta um embrião, uma fonte de energia para a plântula (endosperma e tegmae) e um tegumento que a protege. É o propágulo da reprodução sexuada (p. 371).

APÊNDICES

APÊNDICE A - Coeficientes de regressão utilizados no preenchimento das falhas de temperatura das estações meteorológicas do INMET e estimativa das temperaturas das estações da ANA entre os anos agrícolas 1995/1996 e 2014/2015 para o entorno de Unaí

M	A	Temperatura Máxima					Temperatura Média Compensada					Temperatura Mínima				
		β0	β1	β2	β3	R²	β0	β1	β2	β3	R²	β0	β1	β2	β3	R²
Jul	95	21,518	-0,008	0,460	-0,447	88,4%	19,161	-0,005	0,491	-0,300	73,5%	20,969	-0,001	0,423	-0,049	35,4%
Ago	95	15,297	-0,008	0,263	-0,554	86,4%	9,667	-0,005	0,449	-0,523	65,3%	9,175	-0,001	0,421	-0,306	22,9%
Set	95	21,399	-0,008	0,522	-0,538	90,6%	14,704	-0,006	0,613	-0,533	88,4%	11,977	-0,004	0,505	-0,377	65,2%
Out	95	34,181	-0,008	0,560	-0,284	92,7%	27,583	-0,006	0,579	-0,261	93,8%	19,875	-0,005	0,516	-0,261	81,0%
Nov	95	29,246	-0,008	0,215	-0,202	86,8%	21,008	-0,006	0,286	-0,261	89,1%	15,005	-0,005	0,398	-0,319	85,2%
Dez	95	26,360	-0,007	-0,063	-0,155	87,6%	20,312	-0,006	0,024	-0,176	88,6%	17,103	-0,004	0,067	-0,156	82,0%
Jan	96	39,992	-0,006	-0,007	0,103	75,5%	29,351	-0,005	0,041	0,015	66,4%	20,183	-0,003	0,000	-0,030	40,5%
Fev	96	44,338	-0,008	0,133	0,095	85,9%	28,386	-0,006	0,141	-0,079	79,3%	14,171	-0,004	0,120	-0,230	57,2%
Mar	96	49,398	-0,008	0,066	0,253	90,8%	34,735	-0,006	0,107	0,086	84,9%	24,640	-0,005	0,152	-0,026	72,5%
Abr	96	39,271	-0,008	0,296	-0,029	90,2%	29,916	-0,006	0,416	-0,103	86,3%	23,435	-0,004	0,514	-0,135	75,0%
Mai	96	39,184	-0,008	0,768	-0,179	90,6%	28,981	-0,005	0,882	-0,242	85,0%	19,946	-0,003	0,844	-0,262	73,4%
Jun	96	38,382	-0,008	0,625	-0,123	90,6%	35,731	-0,004	0,825	-0,024	83,6%	28,101	-0,001	0,828	0,003	59,7%
Jul	96	19,839	-0,009	0,437	-0,478	91,2%	22,156	-0,004	0,699	-0,270	74,3%	20,608	0,000	0,749	-0,111	44,8%
Ago	96	17,839	-0,009	0,393	-0,546	92,3%	16,518	-0,006	0,573	-0,435	89,9%	15,499	-0,003	0,644	-0,292	70,6%
Set	96	34,087	-0,008	0,828	-0,371	92,6%	27,014	-0,007	0,818	-0,342	92,8%	17,059	-0,004	0,691	-0,339	77,3%
Out	96	30,356	-0,009	0,240	-0,257	88,7%	25,931	-0,008	0,322	-0,214	86,7%	17,995	-0,005	0,441	-0,285	75,0%
Nov	96	29,125	-0,008	0,196	-0,178	90,7%	21,112	-0,007	0,225	-0,231	93,3%	20,685	-0,005	0,315	-0,166	88,0%
Dez	96	33,309	-0,008	0,181	-0,114	88,8%	26,927	-0,006	0,252	-0,121	91,9%	20,089	-0,004	0,181	-0,127	76,3%
Jan	97	41,229	-0,007	-0,199	0,222	89,5%	28,485	-0,006	-0,081	0,040	92,2%	21,474	-0,005	0,039	-0,055	88,3%
Fev	97	36,028	-0,008	0,086	-0,031	91,3%	25,458	-0,006	0,107	-0,113	87,7%	18,940	-0,004	0,170	-0,138	69,0%
Mar	97	20,937	-0,008	-0,076	-0,246	87,5%	18,812	-0,006	0,104	-0,223	92,2%	19,105	-0,005	0,367	-0,206	82,5%
Abr	97	25,326	-0,007	-0,009	-0,175	84,2%	21,205	-0,005	0,282	-0,209	87,9%	21,979	-0,003	0,589	-0,178	81,0%
Mai	97	22,726	-0,007	0,349	-0,336	84,8%	16,481	-0,005	0,478	-0,340	82,9%	15,097	-0,003	0,565	-0,255	67,2%
Jun	97	37,098	-0,007	0,529	-0,088	93,9%	26,982	-0,003	0,703	-0,149	81,9%	20,240	-0,001	0,780	-0,158	60,3%
Jul	97	27,427	-0,007	0,411	-0,256	72,2%	22,791	-0,003	0,582	-0,202	60,9%	22,742	0,001	0,561	0,004	42,3%
Ago	97	17,377	-0,008	0,336	-0,510	88,5%	11,080	-0,004	0,554	-0,490	72,6%	3,690	0,000	0,705	-0,482	58,4%
Set	97	34,088	-0,009	0,302	-0,231	86,6%	27,316	-0,006	0,519	-0,236	78,7%	16,516	-0,002	0,534	-0,283	58,4%
Out	97	28,737	-0,009	0,267	-0,320	90,1%	25,425	-0,006	0,503	-0,288	87,6%	23,434	-0,004	0,684	-0,233	82,5%
Nov	97	40,961	-0,008	0,028	0,048	87,9%	30,226	-0,006	0,189	-0,065	82,2%	21,146	-0,004	0,348	-0,167	73,0%
Dez	97	40,380	-0,007	0,137	0,057	92,3%	30,975	-0,006	0,183	-0,011	93,4%	24,970	-0,004	0,234	-0,043	84,7%
Jan	98	45,067	-0,007	-0,011	0,205	89,7%	32,236	-0,005	0,016	0,067	89,3%	23,319	-0,004	0,113	-0,037	80,7%
Fev	98	39,978	-0,008	-0,132	0,103	91,4%	28,794	-0,006	0,098	-0,054	90,5%	20,268	-0,004	0,199	-0,148	78,1%
Mar	98	42,515	-0,008	0,237	0,011	91,4%	31,753	-0,006	0,319	-0,082	87,3%	22,445	-0,004	0,306	-0,132	65,6%
Abr	98	50,386	-0,009	0,606	0,035	95,7%	39,161	-0,007	0,660	-0,044	92,5%	24,082	-0,004	0,590	-0,181	69,0%
Mai	98	48,547	-0,008	0,906	-0,037	91,0%	41,578	-0,005	1,006	-0,027	92,2%	33,106	-0,002	0,986	-0,033	77,6%
Jun	98	27,173	-0,008	0,775	-0,440	91,9%	28,635	-0,005	1,015	-0,275	91,3%	27,303	-0,002	1,117	-0,152	75,1%
Jul	98	21,269	-0,009	0,594	-0,525	90,8%	29,647	-0,004	0,987	-0,236	86,4%	32,735	-0,001	1,204	-0,041	66,8%
Ago	98	15,850	-0,009	0,432	-0,634	94,3%	17,945	-0,005	0,773	-0,485	86,7%	16,681	-0,002	0,833	-0,334	59,8%
Set	98	22,993	-0,009	0,371	-0,492	91,6%	23,157	-0,006	0,752	-0,409	87,1%	9,789	-0,003	0,684	-0,478	61,4%
Out	98	32,082	-0,010	0,619	-0,364	96,1%	30,341	-0,007	0,718	-0,260	95,4%	22,583	-0,004	0,601	-0,230	79,6%
Nov	98	13,606	-0,007	0,014	-0,461	90,1%	16,860	-0,006	0,167	-0,303	90,2%	21,547	-0,005	0,263	-0,128	82,8%
Dez	98	29,919	-0,006	-0,103	-0,061	84,7%	22,424	-0,005	0,049	-0,138	89,8%	13,360	-0,004	-0,005	-0,209	72,5%
Jan	99	32,947	-0,006	-0,015	-0,044	80,2%	26,597	-0,005	0,050	-0,062	79,9%	22,002	-0,004	0,049	-0,028	54,0%
Fev	99	38,461	-0,007	0,144	-0,017	89,8%	29,198	-0,006	0,194	-0,069	82,6%	16,888	-0,004	0,142	-0,180	55,9%
Mar	99	28,754	-0,007	0,038	-0,146	89,6%	22,382	-0,005	0,153	-0,171	88,3%	13,684	-0,004	0,053	-0,210	64,5%
Abr	99	29,261	-0,008	0,327	-0,264	88,0%	26,782	-0,006	0,516	-0,210	85,4%	25,506	-0,003	0,502	-0,076	57,1%
Mai	99	33,463	-0,008	0,590	-0,237	90,4%	31,826	-0,005	0,974	-0,199	88,3%	30,714	-0,002	1,200	-0,127	77,9%
Jun	99	23,020	-0,008	0,521	-0,455	93,8%	27,778	-0,004	0,898	-0,247	83,1%	27,038	0,000	1,068	-0,118	67,7%
Jul	99	10,299	-0,008	0,157	-0,591	90,5%	15,353	-0,005	0,592	-0,431	82,6%	17,510	-0,002	0,799	-0,268	59,7%
Ago	99	13,034	-0,008	0,335	-0,603	88,1%	15,296	-0,005	0,855	-0,519	83,5%	13,994	-0,002	1,129	-0,439	69,1%
Set	99	13,416	-0,009	0,280	-0,635	90,0%	14,507	-0,006	0,626	-0,532	84,6%	9,189	-0,003	0,830	-0,526	71,4%
Out	99	17,291	-0,009	0,248	-0,532	88,0%	16,469	-0,007	0,458	-0,448	87,4%	14,102	-0,005	0,642	-0,410	76,0%
Nov	99	6,843	-0,008	-0,018	-0,599	91,3%	13,036	-0,007	0,196	-0,397	92,1%	18,975	-0,005	0,403	-0,226	85,9%
Dez	99	19,729	-0,007	-0,151	-0,264	91,5%	18,897	-0,006	0,044	-0,210	92,8%	17,652	-0,005	0,191	-0,182	82,6%
Jan	00	27,494	-0,006	-0,029	-0,137	78,9%	20,548	-0,006	-0,028	-0,154	82,3%	14,444	-0,005	-0,064	-0,171	73,2%
Fev	00	32,884	-0,007	-0,054	-0,028	88,0%	26,623	-0,006	0,098	-0,069	91,9%	18,437	-0,004	0,124	-0,142	77,7%
Mar	00	25,372	-0,007	0,047	-0,220	86,1%	21,593	-0,006	0,159	-0,194	89,8%	17,257	-0,004	0,154	-0,176	74,1%
Abr	00	24,461	-0,008	0,257	-0,338	88,0%	24,581	-0,006	0,465	-0,231	87,3%	24,279	-0,003	0,610	-0,137	68,7%
Mai	00	30,560	-0,008	0,548	-0,296	92,0%	26,216	-0,004	0,757	-0,240	82,4%	22,478	-0,001	0,772	-0,139	53,3%
Jun	00	19,608	-0,008	0,466	-0,495	91,1%	22,624	-0,004	0,772	-0,291	75,4%	24,193	0,001	0,994	-0,117	50,9%
Jul	00	25,057	-0,008	0,651	-0,432	92,3%	29,988	-0,005	0,942	-0,201	87,1%	29,343	-0,001	1,021	-0,042	63,8%
Ago	00	15,899	-0,009	0,494	-0,630	91,8%	14,325	-0,005	0,807	-0,548	82,4%	8,452	-0,001	0,895	-0,485	55,2%

Coef. β0 - Constante / Coef. β1 - Altitude / Coef. β2 - Latitude / Coef. β3 - Longitude
R²- Coeficiente de determinação

M	A	Temperatura Máxima					Temperatura Média Compensada					Temperatura Mínima				
		β0	β1	β2	β3	R²	β0	β1	β2	β3	R²	β0	β1	β2	β3	R²
Set	00	23,535	-0,010	0,628	-0,513	93,8%	20,414	-0,007	0,707	-0,427	93,5%	14,170	-0,004	0,670	-0,389	75,8%
Out	00	27,224	-0,010	0,081	-0,312	89,8%	22,226	-0,007	0,275	-0,289	84,0%	15,007	-0,004	0,485	-0,331	57,5%
Nov	00	30,037	-0,009	0,147	-0,165	93,5%	27,842	-0,007	0,256	-0,100	93,5%	24,657	-0,005	0,349	-0,087	88,3%
Dez	00	16,634	-0,007	-0,311	-0,277	82,6%	18,348	-0,006	-0,078	-0,182	92,8%	20,612	-0,005	0,127	-0,105	90,4%
Jan	01	21,459	-0,008	-0,144	-0,273	75,7%	18,613	-0,006	-0,089	-0,188	76,7%	12,200	-0,005	-0,107	-0,188	65,8%
Fev	01	33,071	-0,008	-0,241	-0,034	89,2%	25,662	-0,006	-0,035	-0,066	74,4%	14,990	-0,003	0,047	-0,169	35,9%
Mar	01	29,675	-0,008	-0,181	-0,071	89,6%	25,447	-0,006	0,067	-0,080	84,8%	20,087	-0,004	0,159	-0,104	70,6%
Abr	01	27,136	-0,009	0,016	-0,228	87,8%	22,496	-0,005	0,330	-0,237	75,4%	20,751	-0,002	0,520	-0,167	51,4%
Mai	01	37,708	-0,008	0,572	-0,164	92,1%	34,886	-0,005	0,873	-0,120	88,3%	33,276	-0,002	0,958	-0,019	76,9%
Jun	01	20,698	-0,009	0,440	-0,468	88,7%	27,301	-0,005	0,815	-0,233	85,4%	28,858	-0,001	0,958	-0,065	68,3%
Jul	01	15,359	-0,009	0,320	-0,560	89,3%	21,171	-0,005	0,800	-0,361	80,6%	21,345	-0,001	0,946	-0,206	59,9%
Ago	01	18,423	-0,009	0,332	-0,492	89,1%	24,256	-0,006	0,776	-0,320	86,2%	28,653	-0,002	1,036	-0,118	67,2%
Set	01	26,706	-0,009	0,697	-0,491	90,8%	23,901	-0,007	0,830	-0,409	91,8%	17,895	-0,004	0,841	-0,368	80,0%
Out	01	31,563	-0,009	0,346	-0,230	91,0%	29,033	-0,007	0,552	-0,190	91,7%	30,155	-0,004	0,787	-0,106	83,9%
Nov	01	30,057	-0,008	0,090	-0,146	84,1%	28,772	-0,006	0,212	-0,066	88,5%	27,082	-0,004	0,361	-0,045	82,1%
Dez	01	32,495	-0,008	0,158	-0,109	94,8%	24,582	-0,006	0,211	-0,156	95,3%	19,174	-0,005	0,247	-0,179	88,0%
Jan	02	21,068	-0,008	-0,231	-0,236	82,4%	20,447	-0,006	-0,118	-0,140	80,5%	18,559	-0,005	0,007	-0,112	69,9%
Fev	02	32,644	-0,007	0,247	-0,138	89,2%	27,548	-0,005	0,225	-0,085	94,4%	17,106	-0,004	0,019	-0,130	76,8%
Mar	02	31,644	-0,008	0,134	-0,155	88,8%	24,348	-0,006	0,263	-0,185	89,2%	21,065	-0,003	0,336	-0,140	65,4%
Abr	02	27,540	-0,009	0,126	-0,256	84,6%	21,305	-0,006	0,407	-0,296	81,7%	19,668	-0,002	0,559	-0,216	61,1%
Mai	02	24,742	-0,008	0,352	-0,369	88,8%	23,964	-0,005	0,613	-0,266	83,5%	18,547	-0,002	0,637	-0,213	55,7%
Jun	02	21,331	-0,009	0,342	-0,424	85,6%	25,069	-0,005	0,804	-0,280	82,0%	27,426	-0,001	0,976	-0,092	60,6%
Jul	02	18,323	-0,009	0,578	-0,589	91,3%	19,627	-0,005	0,802	-0,416	84,9%	19,011	-0,001	0,780	-0,223	54,1%
Ago	02	16,588	-0,009	0,272	-0,543	81,1%	12,950	-0,005	0,614	-0,525	81,4%	5,013	-0,002	0,719	-0,527	55,3%
Set	02	20,191	-0,009	0,594	-0,583	86,4%	18,863	-0,007	0,683	-0,460	91,6%	16,567	-0,004	0,644	-0,325	70,2%
Out	02	22,452	-0,009	0,307	-0,506	84,7%	14,901	-0,007	0,491	-0,530	81,6%	6,214	-0,003	0,559	-0,545	56,5%
Nov	02	31,805	-0,008	0,414	-0,269	89,1%	23,233	-0,006	0,410	-0,281	88,2%	11,447	-0,004	0,245	-0,338	68,3%
Dez	02	29,828	-0,008	0,050	-0,158	88,4%	23,741	-0,006	0,117	-0,159	91,3%	15,282	-0,004	0,081	-0,212	72,5%
Jan	03	32,446	-0,007	0,164	-0,103	88,2%	26,943	-0,005	0,133	-0,069	93,9%	18,494	-0,004	-0,030	-0,103	79,3%
Fev	03	30,780	-0,008	-0,120	-0,087	88,4%	25,215	-0,006	0,078	-0,112	81,9%	15,898	-0,004	0,216	-0,220	56,6%
Mar	03	44,569	-0,008	0,118	0,148	92,3%	32,818	-0,006	0,171	0,031	91,6%	20,278	-0,005	0,175	-0,125	78,4%
Abr	03	34,350	-0,008	0,180	-0,113	88,2%	26,810	-0,006	0,323	-0,150	86,3%	17,822	-0,004	0,305	-0,195	64,5%
Mai	03	39,074	-0,008	0,525	-0,090	91,9%	35,473	-0,005	0,810	-0,073	88,7%	30,520	-0,003	0,820	-0,030	75,7%
Jun	03	26,982	-0,008	0,337	-0,292	86,3%	25,466	-0,003	0,831	-0,248	70,9%	18,984	0,001	0,958	-0,226	48,5%
Jul	03	19,436	-0,009	0,313	-0,439	83,0%	22,572	-0,004	0,779	-0,290	67,8%	21,782	0,001	0,931	-0,142	44,7%
Ago	03	11,851	-0,008	0,354	-0,658	90,7%	18,006	-0,005	0,741	-0,447	84,1%	19,323	-0,002	0,942	-0,292	65,9%
Set	03	24,291	-0,009	0,504	-0,478	89,3%	19,455	-0,006	0,755	-0,472	89,5%	10,494	-0,003	0,807	-0,500	74,5%
Out	03	35,892	-0,009	0,360	-0,183	90,6%	28,917	-0,006	0,619	-0,237	88,5%	16,349	-0,003	0,792	-0,396	72,8%
Nov	03	40,046	-0,009	0,280	-0,035	90,6%	32,823	-0,007	0,366	-0,055	91,3%	22,242	-0,004	0,439	-0,171	78,1%
Dez	03	38,592	-0,009	0,199	-0,058	93,8%	29,955	-0,006	0,302	-0,108	91,8%	21,051	-0,004	0,283	-0,155	79,8%
Jan	04	33,377	-0,007	-0,034	-0,001	87,8%	27,410	-0,006	-0,016	-0,007	94,7%	19,628	-0,004	0,012	-0,091	84,5%
Fev	04	30,774	-0,007	0,044	-0,078	89,1%	26,317	-0,005	0,168	-0,076	94,7%	22,687	-0,004	0,220	-0,071	75,8%
Mar	04	13,618	-0,007	-0,086	-0,420	86,0%	15,531	-0,006	0,160	-0,316	91,7%	23,240	-0,004	0,350	-0,101	82,0%
Abr	04	22,418	-0,007	0,263	-0,356	88,6%	18,942	-0,005	0,379	-0,306	90,5%	19,607	-0,003	0,430	-0,186	74,2%
Mai	04	28,574	-0,007	0,484	-0,291	88,5%	24,404	-0,005	0,653	-0,260	88,0%	26,093	-0,002	0,710	-0,095	67,2%
Jun	04	18,746	-0,008	0,535	-0,499	89,5%	19,642	-0,004	0,727	-0,336	85,9%	23,672	-0,001	0,769	-0,091	63,4%
Jul	04	16,207	-0,009	0,659	-0,608	90,5%	18,714	-0,005	0,839	-0,401	87,7%	21,426	-0,001	0,886	-0,171	63,0%
Ago	04	13,142	-0,008	0,473	-0,668	91,8%	12,911	-0,005	0,829	-0,560	79,9%	14,595	0,000	0,976	-0,349	55,5%
Set	04	5,507	-0,009	0,161	-0,785	90,1%	0,405	-0,005	0,551	-0,803	76,6%	-4,979	-0,001	0,787	-0,778	55,0%
Out	04	28,983	-0,009	0,365	-0,344	89,3%	22,932	-0,007	0,455	-0,328	83,4%	14,352	-0,005	0,491	-0,374	66,0%
Nov	04	31,939	-0,008	0,194	-0,180	84,9%	25,262	-0,006	0,299	-0,198	80,5%	16,247	-0,005	0,365	-0,288	57,9%
Dez	04	41,571	-0,007	0,385	0,002	91,4%	31,824	-0,005	0,312	-0,026	90,7%	18,210	-0,004	0,113	-0,137	67,3%
Jan	05	40,548	-0,006	0,031	0,114	85,8%	29,955	-0,005	0,001	0,036	93,5%	18,492	-0,005	-0,069	-0,097	75,3%
Fev	05	22,298	-0,007	-0,102	-0,251	85,1%	18,585	-0,006	0,144	-0,266	88,8%	17,115	-0,005	0,229	-0,217	76,5%
Mar	05	28,718	-0,008	0,017	-0,149	87,6%	25,084	-0,006	0,117	-0,112	92,8%	18,367	-0,005	0,050	-0,138	82,8%
Abr	05	24,855	-0,008	0,081	-0,283	85,9%	20,385	-0,006	0,302	-0,282	77,0%	17,489	-0,004	0,373	-0,231	58,6%
Mai	05	26,647	-0,008	0,330	-0,294	91,6%	23,435	-0,005	0,505	-0,230	81,2%	21,675	-0,003	0,528	-0,123	54,3%
Jun	05	25,364	-0,008	0,537	-0,375	91,1%	20,946	-0,005	0,625	-0,303	83,8%	15,613	-0,002	0,475	-0,206	46,4%
Jul	05	20,783	-0,009	0,534	-0,486	90,1%	19,700	-0,005	0,799	-0,384	86,1%	15,686	-0,001	0,832	-0,290	63,8%
Ago	05	18,139	-0,009	0,421	-0,550	89,6%	15,494	-0,005	0,659	-0,473	81,0%	10,791	-0,001	0,670	-0,364	47,0%

Coef. β0 - Constante / Coef. β1 - Altitude / Coef. β2 - Latitude / Coef. β3 - Longitude

R²- Coeficiente de determinação

M	A	Temperatura Máxima					Temperatura Média Compensada					Temperatura Mínima				
		β0	β1	β2	β3	R²	β0	β1	β2	β3	R²	β0	β1	β2	β3	R²
Set	05	18,712	-0,009	0,561	-0,631	92,1%	15,486	-0,007	0,594	-0,523	88,4%	5,066	-0,004	0,418	-0,515	66,8%
Out	05	30,611	-0,009	0,232	-0,307	87,4%	21,216	-0,007	0,350	-0,353	74,0%	6,477	-0,004	0,366	-0,488	43,8%
Nov	05	32,995	-0,008	0,648	-0,271	89,5%	29,120	-0,006	0,481	-0,153	92,5%	20,244	-0,005	0,281	-0,171	89,2%
Dez	05	29,547	-0,007	0,220	-0,168	93,3%	26,074	-0,006	0,265	-0,123	92,4%	19,854	-0,005	0,214	-0,138	82,2%
Jan	06	35,421	-0,007	0,216	-0,095	83,4%	26,484	-0,006	0,104	-0,084	71,7%	17,689	-0,002	-0,002	-0,076	17,3%
Fev	06	49,772	-0,008	-0,114	0,313	92,7%	38,292	-0,006	0,083	0,163	85,9%	21,930	-0,004	0,219	-0,107	70,2%
Mar	06	27,649	-0,007	0,039	-0,172	90,5%	26,562	-0,006	0,138	-0,080	92,1%	20,311	-0,004	0,074	-0,084	68,8%
Abr	06	19,810	-0,007	0,106	-0,350	88,6%	17,307	-0,005	0,276	-0,309	87,4%	15,963	-0,003	0,358	-0,244	69,7%
Mai	06	24,681	-0,006	0,407	-0,327	86,5%	20,576	-0,004	0,697	-0,320	81,3%	20,022	-0,001	0,798	-0,208	67,7%
Jun	06	16,444	-0,008	0,501	-0,539	89,5%	12,928	-0,005	0,666	-0,462	79,7%	10,269	-0,001	0,651	-0,337	49,7%
Jul	06	19,445	-0,008	0,437	-0,465	89,3%	15,464	-0,004	0,832	-0,455	75,5%	7,943	0,000	0,936	-0,457	51,7%
Ago	06	15,761	-0,008	0,496	-0,632	90,1%	15,528	-0,005	0,861	-0,543	83,6%	13,024	-0,001	1,033	-0,453	62,4%
Set	06	22,057	-0,008	0,572	-0,532	90,4%	18,490	-0,006	0,741	-0,476	88,5%	12,616	-0,003	0,805	-0,450	72,5%
Out	06	32,482	-0,009	0,550	-0,265	92,7%	30,189	-0,007	0,479	-0,137	94,4%	24,549	-0,004	0,455	-0,119	77,3%
Nov	06	18,330	-0,008	0,213	-0,432	93,6%	18,403	-0,006	0,274	-0,301	93,0%	20,849	-0,004	0,311	-0,141	67,9%
Dez	06	33,484	-0,007	0,350	-0,153	91,6%	26,293	-0,005	0,279	-0,138	90,5%	14,261	-0,005	0,048	-0,218	78,3%
Jan	07	43,520	-0,008	0,435	0,003	88,2%	34,223	-0,006	0,350	-0,007	88,5%	18,734	-0,004	0,167	-0,166	66,1%
Fev	07	21,541	-0,007	-0,135	-0,220	88,8%	20,741	-0,006	0,062	-0,174	91,4%	20,337	-0,004	0,207	-0,132	76,0%
Mar	07	23,905	-0,007	-0,091	-0,244	89,3%	18,156	-0,005	0,151	-0,277	75,0%	14,659	-0,003	0,334	-0,268	50,4%
Abr	07	26,772	-0,008	0,272	-0,309	89,3%	22,182	-0,006	0,398	-0,269	80,5%	19,197	-0,003	0,410	-0,190	55,9%
Mai	07	32,611	-0,008	0,670	-0,298	92,8%	28,305	-0,004	0,895	-0,254	84,6%	24,498	-0,002	0,905	-0,164	62,7%
Jun	07	23,672	-0,007	0,385	-0,371	88,4%	21,770	-0,004	0,831	-0,332	76,4%	18,719	0,000	0,992	-0,252	50,7%
Jul	07	21,404	-0,008	0,563	-0,503	93,7%	16,697	-0,004	0,801	-0,452	76,2%	8,800	-0,001	0,843	-0,435	48,7%
Ago	07	12,613	-0,009	0,291	-0,612	88,1%	11,878	-0,006	0,604	-0,519	80,6%	8,463	-0,002	0,802	-0,461	59,9%
Set	07	6,670	-0,009	0,264	-0,785	90,0%	3,392	-0,006	0,599	-0,765	85,6%	0,268	-0,003	0,754	-0,686	64,6%
Out	07	29,102	-0,009	0,303	-0,344	91,6%	23,793	-0,006	0,517	-0,338	85,8%	10,061	-0,004	0,549	-0,470	63,0%
Nov	07	46,357	-0,009	0,366	0,040	93,5%	41,133	-0,007	0,496	0,055	92,5%	24,940	-0,005	0,391	-0,128	83,8%
Dez	07	33,744	-0,007	-0,068	-0,016	94,0%	27,933	-0,005	0,108	-0,045	90,2%	20,089	-0,004	0,225	-0,140	77,2%
Jan	08	38,736	-0,007	0,151	0,029	87,4%	31,145	-0,005	0,155	0,013	87,9%	18,248	-0,004	0,030	-0,113	67,6%
Fev	08	38,790	-0,007	0,052	0,055	93,0%	31,106	-0,006	0,125	0,019	91,5%	17,683	-0,005	0,157	-0,173	80,5%
Mar	08	31,764	-0,007	-0,041	-0,051	88,6%	28,191	-0,006	0,159	-0,042	92,8%	20,310	-0,004	0,209	-0,124	82,0%
Abr	08	30,173	-0,007	0,012	-0,114	88,5%	24,246	-0,005	0,255	-0,160	82,1%	18,366	-0,004	0,362	-0,202	73,1%
Mai	08	33,832	-0,008	0,560	-0,214	93,9%	28,405	-0,004	0,807	-0,206	82,9%	21,321	-0,002	0,822	-0,201	62,8%
Jun	08	21,751	-0,009	0,360	-0,412	92,5%	21,220	-0,004	0,595	-0,273	75,3%	16,793	-0,001	0,447	-0,135	29,1%
Jul	08	19,604	-0,008	0,409	-0,463	90,3%	23,956	-0,004	1,000	-0,327	81,1%	21,010	0,001	1,228	-0,256	62,1%
Ago	08	16,260	-0,009	0,275	-0,553	91,4%	16,619	-0,005	0,695	-0,448	75,9%	9,809	0,000	0,819	-0,417	48,6%
Set	08	19,721	-0,009	0,518	-0,601	93,3%	19,086	-0,006	0,756	-0,472	83,3%	14,265	-0,002	0,877	-0,418	62,4%
Out	08	39,385	-0,009	0,459	-0,186	88,5%	30,485	-0,007	0,579	-0,224	82,5%	14,994	-0,004	0,500	-0,353	61,8%
Nov	08	22,294	-0,008	0,112	-0,339	90,3%	25,110	-0,007	0,257	-0,178	91,6%	26,115	-0,005	0,356	-0,083	89,0%
Dez	08	23,444	-0,008	0,076	-0,264	92,0%	20,640	-0,006	0,140	-0,211	93,7%	18,446	-0,005	0,160	-0,169	87,6%
Jan	09	29,706	-0,006	0,032	-0,124	80,2%	25,548	-0,005	0,108	-0,095	82,1%	22,217	-0,004	0,071	-0,043	73,3%
Fev	09	34,455	-0,007	-0,011	-0,034	88,6%	27,389	-0,006	0,092	-0,065	85,9%	19,226	-0,004	0,104	-0,120	71,8%
Mar	09	38,629	-0,007	0,145	-0,007	89,6%	30,233	-0,005	0,218	-0,043	85,2%	20,910	-0,004	0,204	-0,112	67,1%
Abr	09	22,902	-0,007	0,012	-0,242	86,1%	25,025	-0,005	0,302	-0,148	86,3%	29,793	-0,004	0,539	-0,014	78,0%
Mai	09	16,437	-0,007	0,140	-0,420	82,3%	16,857	-0,005	0,503	-0,353	77,1%	19,969	-0,002	0,709	-0,216	67,9%
Jun	09	27,734	-0,008	0,504	-0,310	91,9%	27,914	-0,004	0,738	-0,171	78,7%	30,456	-0,001	0,826	0,016	57,2%
Jul	09	22,076	-0,008	0,393	-0,432	89,4%	19,282	-0,004	0,663	-0,349	67,9%	16,728	-0,001	0,703	-0,224	42,3%
Ago	09	25,875	-0,009	0,595	-0,435	91,3%	21,972	-0,005	0,755	-0,363	82,5%	16,247	-0,002	0,762	-0,298	55,3%
Set	09	38,928	-0,009	0,493	-0,181	93,7%	32,484	-0,006	0,633	-0,164	85,4%	21,000	-0,002	0,588	-0,211	56,4%
Out	09	33,025	-0,009	0,332	-0,211	91,8%	33,548	-0,007	0,426	-0,064	89,4%	31,078	-0,004	0,484	-0,004	83,6%
Nov	09	31,298	-0,008	-0,074	-0,098	90,5%	24,770	-0,006	0,093	-0,127	81,1%	13,864	-0,004	0,166	-0,250	61,9%
Dez	09	35,383	-0,007	0,126	-0,023	89,1%	28,115	-0,006	0,139	-0,044	91,7%	19,619	-0,005	0,130	-0,124	87,9%
Jan	10	40,495	-0,007	-0,061	0,111	84,6%	30,810	-0,005	-0,093	0,082	78,6%	16,095	-0,004	-0,077	-0,123	46,8%
Fev	10	39,893	-0,008	0,013	0,038	90,7%	27,253	-0,006	0,050	-0,072	81,6%	18,712	-0,004	0,215	-0,173	59,0%
Mar	10	23,482	-0,007	-0,032	-0,252	88,1%	21,877	-0,005	0,055	-0,158	88,4%	21,813	-0,004	0,186	-0,096	77,5%
Abr	10	21,752	-0,007	0,302	-0,399	89,9%	20,282	-0,005	0,370	-0,277	79,3%	23,414	-0,003	0,467	-0,096	63,3%
Mai	10	27,233	-0,007	0,688	-0,419	92,9%	29,786	-0,005	0,752	-0,188	82,3%	35,220	-0,002	0,855	0,059	63,4%
Jun	10	20,452	-0,007	0,880	-0,606	92,3%	19,494	-0,004	0,875	-0,394	81,0%	21,673	0,000	0,997	-0,192	54,7%
Jul	10	16,610	-0,008	0,498	-0,569	92,6%	16,251	-0,006	0,549	-0,391	82,4%	13,153	-0,002	0,684	-0,316	46,6%
Ago	10	10,074	-0,008	0,281	-0,669	88,4%	11,877	-0,004	0,787	-0,561	74,6%	9,523	-0,001	1,022	-0,468	51,9%

Coef. β0 - Constante / Coef. β1 - Altitude / Coef. β2 - Latitude / Coef. β3 - Longitude

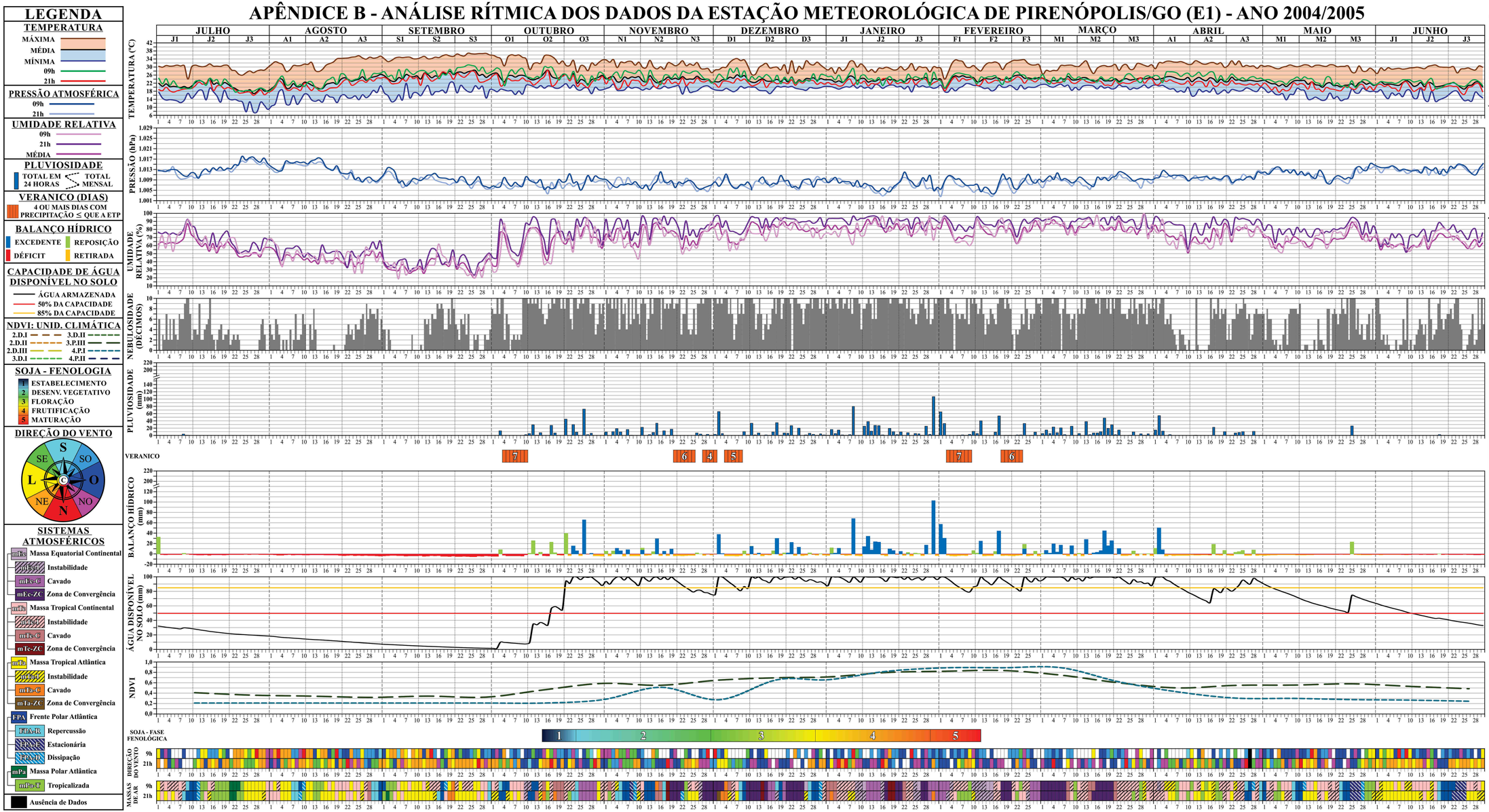
R²- Coeficiente de determinação

M	A	Temperatura Máxima					Temperatura Média Compensada					Temperatura Mínima				
		β0	β1	β2	β3	R²	β0	β1	β2	β3	R²	β0	β1	β2	β3	R²
Set	10	10,156	-0,009	0,375	-0,753	92,9%	9,413	-0,006	0,771	-0,696	87,7%	6,528	-0,002	0,984	-0,629	72,0%
Out	10	35,314	-0,009	0,555	-0,280	89,8%	30,586	-0,007	0,624	-0,227	88,0%	24,634	-0,005	0,622	-0,199	79,8%
Nov	10	29,331	-0,008	0,176	-0,188	88,8%	26,603	-0,006	0,244	-0,121	91,2%	23,559	-0,005	0,268	-0,088	87,4%
Dez	10	25,490	-0,007	-0,206	-0,141	84,9%	22,022	-0,006	-0,006	-0,137	86,5%	16,984	-0,005	0,093	-0,171	80,1%
Jan	11	32,215	-0,007	0,002	-0,063	83,9%	22,916	-0,006	-0,036	-0,107	80,3%	14,259	-0,005	-0,035	-0,185	63,2%
Fev	11	35,914	-0,009	-0,374	0,092	89,1%	26,222	-0,007	-0,121	-0,031	78,7%	15,587	-0,004	0,136	-0,210	61,1%
Mar	11	30,116	-0,006	0,037	-0,099	89,7%	25,667	-0,005	0,147	-0,089	92,3%	20,460	-0,004	0,155	-0,110	84,9%
Abr	11	20,358	-0,007	0,170	-0,379	86,4%	20,080	-0,005	0,324	-0,273	82,3%	22,889	-0,003	0,398	-0,103	59,7%
Mai	11	22,494	-0,008	0,422	-0,409	88,3%	19,802	-0,005	0,635	-0,342	78,1%	20,011	-0,002	0,662	-0,187	56,5%
Jun	11	30,507	-0,008	0,696	-0,326	93,1%	28,201	-0,004	0,892	-0,217	81,2%	22,790	-0,001	0,817	-0,125	53,6%
Jul	11	18,921	-0,008	0,502	-0,533	91,2%	19,571	-0,004	0,875	-0,404	79,4%	17,103	0,000	0,937	-0,273	56,4%
Ago	11	15,451	-0,008	0,317	-0,598	90,5%	14,664	-0,004	0,698	-0,496	73,7%	11,287	0,000	0,813	-0,387	44,3%
Set	11	7,337	-0,009	0,305	-0,795	92,1%	3,067	-0,005	0,568	-0,745	78,2%	-5,069	-0,002	0,725	-0,757	54,3%
Out	11	28,340	-0,009	0,434	-0,331	90,5%	28,146	-0,007	0,494	-0,188	92,7%	19,931	-0,005	0,466	-0,230	86,4%
Nov	11	14,024	-0,008	0,006	-0,453	87,9%	13,815	-0,007	0,207	-0,381	91,1%	15,501	-0,005	0,347	-0,280	86,7%
Dez	11	26,531	-0,007	0,142	-0,214	90,8%	23,939	-0,006	0,176	-0,144	93,3%	16,257	-0,005	0,058	-0,171	86,4%
Jan	12	37,017	-0,008	0,176	-0,006	91,7%	30,264	-0,006	0,100	0,017	87,3%	18,370	-0,005	-0,001	-0,094	67,1%
Fev	12	36,990	-0,008	0,010	0,005	89,2%	27,867	-0,006	0,097	-0,057	79,8%	18,008	-0,004	0,175	-0,158	56,9%
Mar	12	39,870	-0,008	0,375	-0,079	91,6%	32,471	-0,006	0,370	-0,059	83,4%	20,671	-0,004	0,305	-0,149	63,1%
Abr	12	46,707	-0,009	0,547	-0,004	94,6%	32,034	-0,006	0,497	-0,111	80,7%	13,852	-0,003	0,336	-0,291	47,7%
Mai	12	36,597	-0,009	0,732	-0,227	94,0%	31,856	-0,006	0,779	-0,157	90,2%	25,656	-0,003	0,687	-0,109	67,6%
Jun	12	32,482	-0,009	0,660	-0,313	94,8%	26,439	-0,005	0,741	-0,256	81,3%	16,399	-0,002	0,578	-0,240	44,0%
Jul	12	26,846	-0,009	0,552	-0,391	89,6%	26,129	-0,005	0,811	-0,254	69,7%	21,151	0,000	0,810	-0,149	36,9%
Ago	12	15,677	-0,010	0,504	-0,619	92,5%	14,648	-0,007	0,665	-0,495	85,3%	13,158	-0,003	0,747	-0,363	56,7%
Set	12	23,490	-0,009	0,494	-0,511	93,9%	21,614	-0,006	0,894	-0,479	89,8%	18,227	-0,002	1,085	-0,420	75,4%
Out	12	26,921	-0,010	0,290	-0,401	91,6%	22,517	-0,007	0,542	-0,386	82,2%	13,790	-0,004	0,671	-0,428	58,7%
Nov	12	13,050	-0,008	-0,079	-0,447	91,6%	17,376	-0,006	0,092	-0,270	91,7%	21,845	-0,005	0,215	-0,113	74,3%
Dez	12	40,188	-0,007	0,080	0,025	88,0%	28,858	-0,006	0,155	-0,080	75,9%	14,482	-0,004	0,073	-0,207	34,4%
Jan	13	45,283	-0,008	0,069	0,198	91,8%	35,995	-0,006	0,025	0,158	91,8%	26,537	-0,004	-0,006	0,083	49,4%
Fev	13	48,254	-0,007	0,350	0,126	88,7%	34,343	-0,006	0,303	0,001	79,7%	17,393	-0,004	0,195	-0,191	54,2%
Mar	13	45,516	-0,008	0,352	0,063	85,3%	37,145	-0,006	0,335	0,047	83,4%	21,818	-0,005	0,160	-0,104	74,1%
Abr	13	33,239	-0,008	0,415	-0,180	85,4%	30,258	-0,006	0,511	-0,117	84,0%	25,329	-0,005	0,498	-0,105	75,9%
Mai	13	37,735	-0,008	0,702	-0,194	85,4%	31,468	-0,005	0,802	-0,168	79,6%	27,627	-0,003	0,730	-0,064	60,5%
Jun	13	34,896	-0,008	0,640	-0,228	85,6%	30,108	-0,005	0,763	-0,170	77,7%	21,845	-0,002	0,656	-0,157	50,9%
Jul	13	28,855	-0,008	0,621	-0,359	85,0%	35,224	-0,004	0,986	-0,122	83,7%	34,591	-0,002	1,052	0,019	70,2%
Ago	13	20,998	-0,008	0,491	-0,507	84,2%	23,899	-0,005	0,842	-0,345	74,6%	21,674	-0,002	0,929	-0,228	57,9%
Set	13	24,420	-0,009	0,613	-0,522	87,7%	24,942	-0,006	0,833	-0,386	85,3%	22,107	-0,004	0,830	-0,278	67,4%
Out	13	34,726	-0,007	0,612	-0,258	84,1%	26,565	-0,007	0,649	-0,290	82,4%	16,840	-0,005	0,589	-0,343	73,0%
Nov	13	37,306	-0,009	0,271	-0,094	87,9%	31,101	-0,007	0,306	-0,075	82,6%	22,786	-0,005	0,300	-0,125	71,4%
Dez	13	14,325	-0,007	-0,199	-0,373	89,1%	18,673	-0,006	-0,025	-0,196	90,6%	20,641	-0,005	0,050	-0,084	84,5%
Jan	14	27,730	-0,007	-0,023	-0,171	82,2%	24,596	-0,005	-0,074	-0,062	69,9%	18,988	-0,004	-0,059	-0,057	40,9%
Fev	14	37,486	-0,008	-0,175	0,072	84,8%	28,006	-0,006	0,063	-0,049	74,1%	18,062	-0,004	0,339	-0,221	58,8%
Mar	14	35,876	-0,009	0,116	-0,053	84,9%	29,847	-0,007	0,171	-0,046	83,2%	22,629	-0,005	0,211	-0,093	69,3%
Abr	14	40,399	-0,008	0,224	0,011	88,5%	30,425	-0,006	0,353	-0,089	78,8%	18,832	-0,005	0,360	-0,214	66,4%
Mai	14	37,284	-0,008	0,482	-0,143	86,9%	34,910	-0,005	0,811	-0,103	78,2%	32,415	-0,002	0,944	-0,027	60,5%
Jun	14	26,728	-0,009	0,446	-0,342	81,8%	26,982	-0,005	0,710	-0,213	69,5%	24,581	-0,002	0,713	-0,091	46,8%
Jul	14	29,498	-0,009	0,695	-0,364	86,7%	28,178	-0,006	0,859	-0,240	84,6%	23,630	-0,002	0,792	-0,131	54,8%
Ago	14	16,618	-0,009	0,431	-0,599	88,1%	20,881	-0,005	0,945	-0,452	82,4%	21,318	-0,001	1,124	-0,291	62,2%
Set	14	21,488	-0,009	0,453	-0,551	95,1%	15,347	-0,006	0,682	-0,560	86,9%	3,115	-0,003	0,791	-0,669	61,3%
Out	14	17,420	-0,009	0,307	-0,595	91,7%	17,569	-0,007	0,486	-0,465	88,4%	15,187	-0,005	0,609	-0,384	61,8%
Nov	14	28,237	-0,008	0,282	-0,287	92,8%	27,197	-0,007	0,333	-0,172	92,8%	21,332	-0,005	0,349	-0,181	84,8%
Dez	14	36,849	-0,007	0,007	0,046	89,2%	28,172	-0,006	0,113	-0,038	91,2%	19,271	-0,005	0,134	-0,136	79,7%
Jan	15	36,381	-0,008	-0,065	-0,033	87,8%	25,608	-0,006	0,104	-0,139	74,6%	13,743	-0,004	0,213	-0,273	43,8%
Fev	15	39,496	-0,008	0,090	0,042	93,8%	28,973	-0,006	0,120	-0,039	87,0%	19,813	-0,004	0,142	-0,120	64,7%
Mar	15	55,601	-0,008	0,239	0,340	92,5%	43,193	-0,006	0,272	0,220	91,0%	24,150	-0,004	0,197	-0,047	70,5%
Abr	15	35,371	-0,009	0,248	-0,117	90,1%	29,476	-0,007	0,383	-0,125	88,1%	20,567	-0,005	0,406	-0,206	74,4%
Mai	15	33,251	-0,009	0,509	-0,214	86,8%	28,374	-0,006	0,572	-0,164	86,6%	23,145	-0,003	0,487	-0,106	60,3%
Jun	15	29,126	-0,009	0,550	-0,317	87,4%	27,600	-0,006	0,698	-0,204	80,9%	24,552	-0,002	0,633	-0,077	47,8%

Coef. β0 - Constante / Coef. β1 - Altitude / Coef. β2 - Latitude / Coef. β3 - Longitude

R²- Coeficiente de determinação

APÊNDICE B - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PIRENÓPOLIS/GO (E1) - ANO 2004/2005



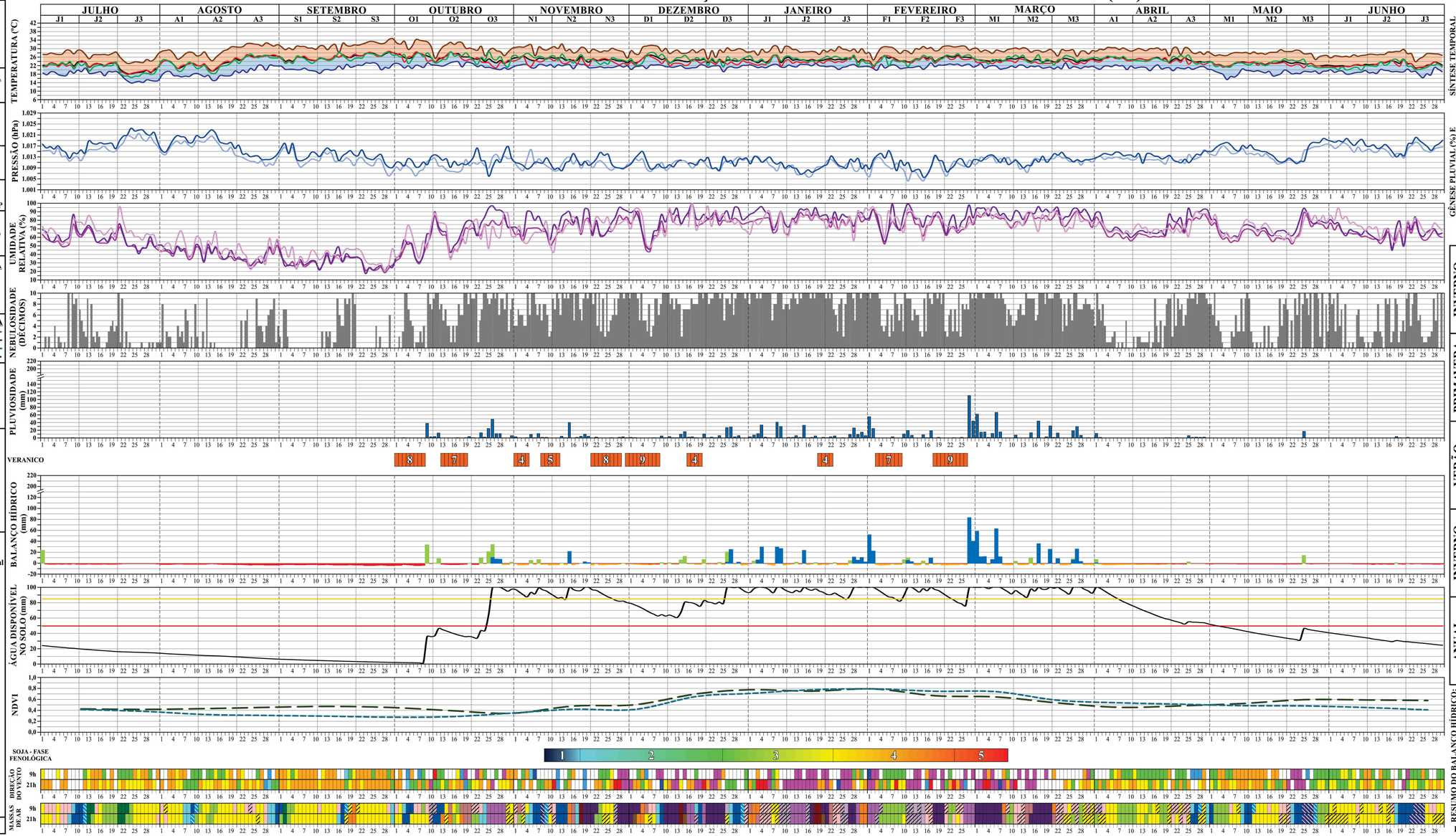
PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	4,8	242,8	0,0
PRIMAVERA	676,7	57,7	293,0
VERÃO	1.013,1	8,4	700,7
OUTONO	180,2	68,1	58,8
ANUAL	1.874,8	374,9	1.052,5

RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO: SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	116,5	7,7	21,9
DES. VEGETATIVO	327,1	6,3	185,7
FLORAÇÃO	197,6	3,7	88,0
FRUTIFICAÇÃO	521,1	2,5	414,1
MATURAÇÃO	123,3	3,0	69,3
TOTAL	1.285,6	23,2	778,9

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE C - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BRASÍLIA/DF (E2) - ANO 2004/2005



LEGENDA

TEMPERATURA
MÁXIMA
MÉDIA
MÍNIMA
09h
21h

PRESSÃO ATMOSFÉRICA
09h
21h

UMIDADE RELATIVA
09h
21h
MÉDIA

PLUVIOSIDADE
TOTAL EM 24 HORAS
TOTAL MENSAL

VERANICO (DIAS)
4 OU MAIS DIAS COM PRECIPITAÇÃO ≤ QUE A ETP

BALANÇO HÍDRICO
EXCEDENTE
REPOSIÇÃO
DÉFICIT
RETIRADA

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
ÁGUA ARMAZENADA
50% DA CAPACIDADE
85% DA CAPACIDADE

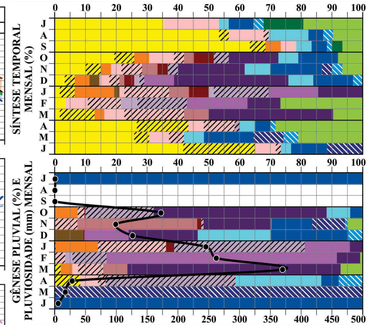
NDVI: UNID. CLIMÁTICA
2.D.I
2.D.II
2.D.III
3.D.I
3.D.II
3.P.III
4.P.I
4.P.II

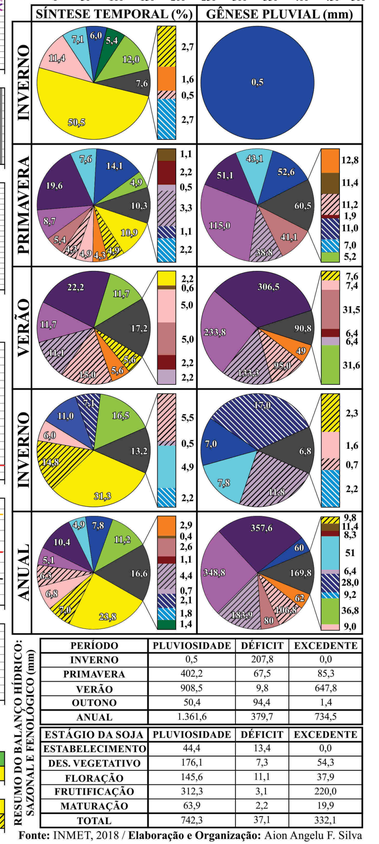
SOJA - FENOLOGIA
1 ESTABELECIMENTO
2 DESENV. VEGETATIVO
3 FLORAÇÃO
4 FRUTIFICAÇÃO
5 MATURAÇÃO

DIREÇÃO DO VENTO
S, SO, O, NO, N, NE, L, SE, C

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS
- mEs Massa Equatorial Continental
- mEs-I Instabilidade
- mEs-C Cavado
- mEs-ZC Zona de Convergência
- mTs Massa Tropical Continental
- mTs-I Instabilidade
- mTs-C Cavado
- mTs-ZC Zona de Convergência
- mTa Massa Tropical Atlântica
- mTa-I Instabilidade
- mTa-C Cavado
- mTa-ZC Zona de Convergência
- FPA Frente Polar Atlântica
- FPA-R Repercussão
- FPA-E Estacionária
- FPA-D Dissipação
- mPa Massa Polar Atlântica
- mPa-T Tropicalizada
- Ausência de Dados

RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	0,5	207,8	0,0
PRIMAVERA	402,2	67,5	85,3
VERÃO	908,5	9,8	647,8
OUTONO	50,4	94,4	1,4
ANUAL	1.361,6	379,7	734,5

ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	44,4	13,4	0,0
DES. VEGETATIVO	176,1	7,3	54,3
FLORAÇÃO	145,6	11,1	37,9
FRUTIFICAÇÃO	312,3	3,1	220,0
MATURAÇÃO	63,9	2,2	19,9
TOTAL	742,3	37,1	332,1

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE D - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE UNAÍ/MG (E3) - ANO 2004/2005

LEGENDA

TEMPERATURA
MÁXIMA
MÉDIA
MÍNIMA
09h
21h

PRESSÃO ATMOSFÉRICA
09h
21h

UMIDADE RELATIVA
09h
21h
MÉDIA

PLUVIOSIDADE
TOTAL EM 24 HORAS
TOTAL MENSAL

VERANICO (DIAS)
4 OU MAIS DIAS COM PRECIPITAÇÃO ≤ QUE A ETP

BALANÇO HÍDRICO
EXCEDENTE
REPOSIÇÃO
DÉFICIT
RETIRADA

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
ÁGUA ARMAZENADA
50% DA CAPACIDADE
85% DA CAPACIDADE

NDVI: UNID. CLIMÁTICA
2.D.I
2.D.II
2.D.III
3.D.I
3.D.II
3.P.III
4.P.I
4.P.II

SOJA - FENOLOGIA
1 ESTABELECIMENTO
2 DESENV. VEGETATIVO
3 FLORAÇÃO
4 FRUTIFICAÇÃO
5 MATURAÇÃO

DIREÇÃO DO VENTO
S, SO, O, NO, N, NE, L, SE, C

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS
- mEs Massa Equatorial Continental
- mEs-I Instabilidade
- mEs-C Cavado
- mEs-ZC Zona de Convergência
- mTs Massa Tropical Continental
- mTs-I Instabilidade
- mTs-C Cavado
- mTs-ZC Zona de Convergência
- mTa Massa Tropical Atlântica
- mTa-I Instabilidade
- mTa-C Cavado
- mTa-ZC Zona de Convergência
- FPA Frente Polar Atlântica
- FPA-R Repercussão
- FPA-E Estacionária
- FPA-D Dissipação
- mPa Massa Polar Atlântica
- mPa-T Tropicalizada
- Ausência de Dados

JULHO J1 J2 J3 | AGOSTO A1 A2 A3 | SETEMBRO S1 S2 S3 | OUTUBRO O1 O2 O3 | NOVEMBRO N1 N2 N3 | DEZEMBRO D1 D2 D3 | JANEIRO J1 J2 J3 | FEVEREIRO F1 F2 F3 | MARÇO M1 M2 M3 | ABRIL A1 A2 A3 | MAIO M1 M2 M3 | JUNHO J1 J2 J3

TEMPERATURA (°C)

PRESSÃO (hPa)

UMIDADE RELATIVA (%)

NEBULOSIDADE (DÉCIMOS)

PLUVIOSIDADE (mm)

VERANICO: 10 | 7 | 7 | 16 | 7 | 8 | 6 | 7 | 8 | 6 | 6 | 4 | 6 | 4

BALANÇO HÍDRICO (mm)

ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO (mm)

NDVI

SOJA - FASE FENOLÓGICA: 1 | 2 | 3 | 4 | 5

DIREÇÃO DO VENTO: 9h, 21h

MASSAS DE AR: 9h, 21h

RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL

SÍNTESE TEMPORAL MENSAL (%)

GÊNESE PLUVIAL (%) E PLUVIOSIDADE (mm) MENSAL

	SÍNTESE TEMPORAL (%)	GÊNESE PLUVIAL (mm)
INVERNO	7,0 5,4 6,0 10,4 6,0 23,9 41,3 — 1,1 1,6 0,5 2,7	AUSÊNCIA DE PLUVIOSIDADE
PRIMAVERA	9,3 13,6 4,0 17,4 14,1 4,0 4,3 8,7 20,1 — 3,8 1,6 1,1 3,3 1,1 2,2 1,1 2,2 1,1	245,3 20 51,1 20,7 49,4 124,2 — 17,6 9,2 2,4 15,4 5,8 1,2
VERÃO	18,9 33,9 5,8 5,9 10,6 17,2 — 5,0 6,1 6,1 3,3 1,7 5,0 6,7	255,1 196,2 384,4 — 19,8 26,4 34,2 6,6 34,5 23,9 31,4 19,4
INVERNO	11,0 17,6 7,7 30,9 16,5 — 0,5 4,9 2,2	28,1 3,1 6,0 — 1,6 0,3 1,2
ANUAL	7,5 11,8 17,5 31,0 12,6 4,8 9,3 — 3,6 1,9 1,9 0,7 1,6 2,2 2,1 1,8 1,8	500,4 40 235,5 47 83,6 508,8 — 19,8 12,5 36,1 39,1 11,6 31,4 42,2 15,7 20,2

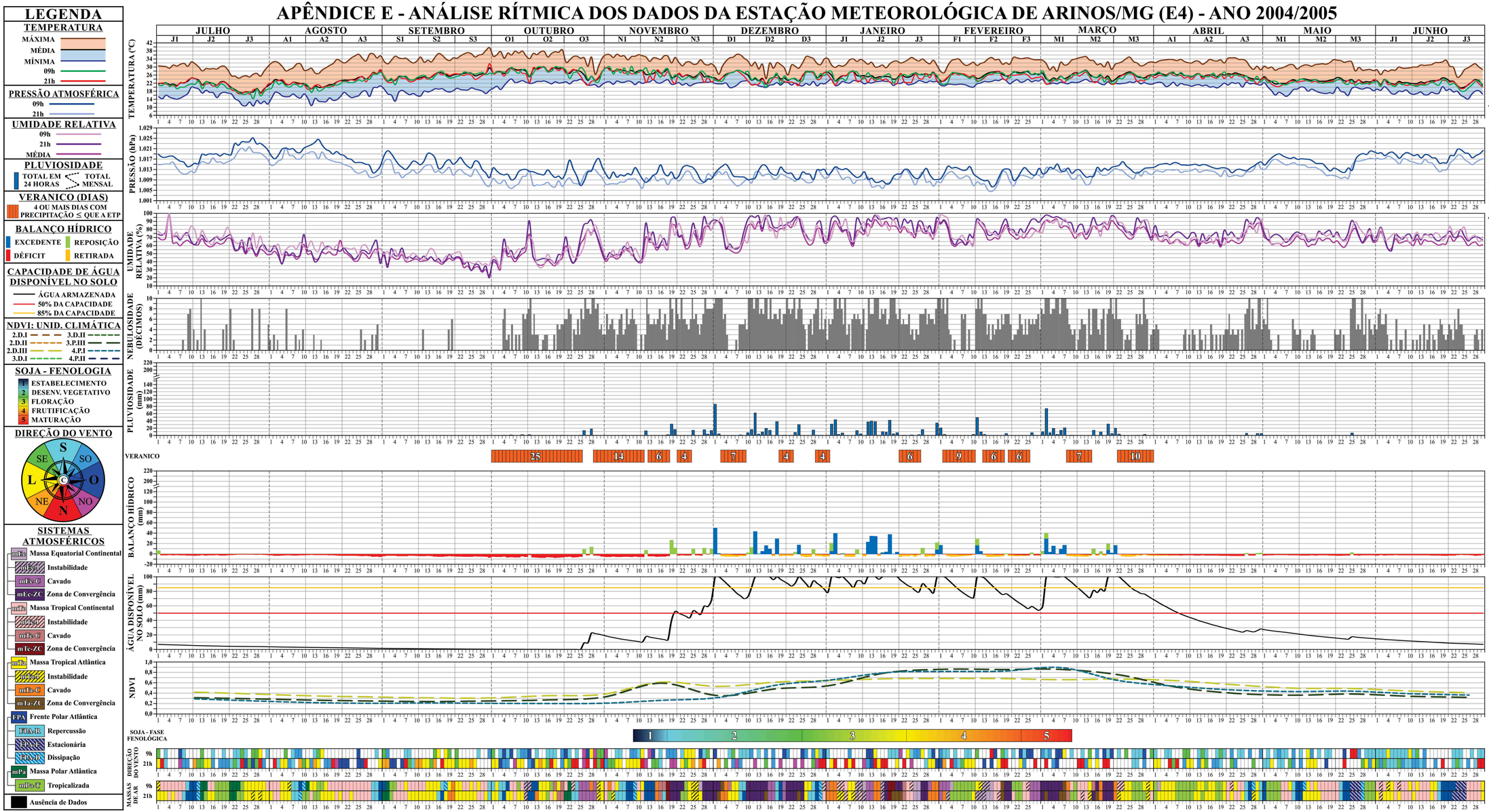
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	0,0	272,5	0,0
PRIMAVERA	512,3	179,7	175,2
VERÃO	874,6	26,9	524,8
OUTONO	37,1	167,2	0,0
ANUAL	1.424,0	646,3	669,9

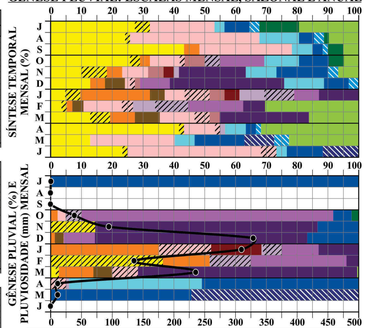
ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	6,2	51,0	0,0
DES. VEGETATIVO	269,3	42,4	42,1
FLORAÇÃO	240,9	8,4	133,0
FRUTIFICAÇÃO	472,8	9,6	339,8
MATURAÇÃO	78,5	6,2	9,7
TOTAL	1.069,7	117,6	524,8

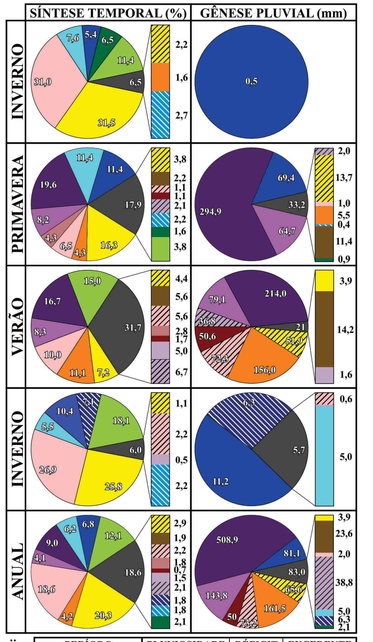
Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE E - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ARINOS/MG (E4) - ANO 2004/2005



RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





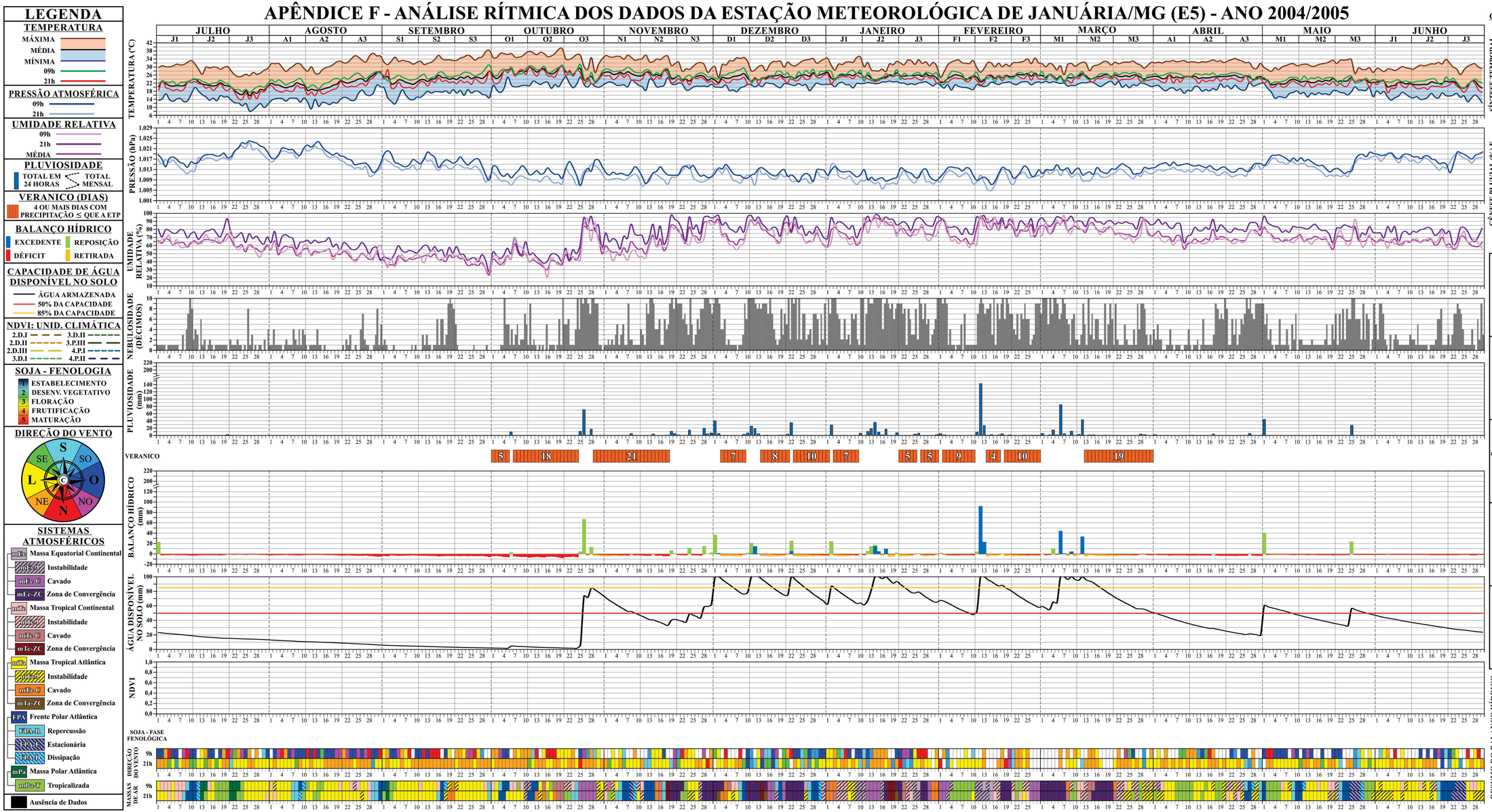
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	0,5	266,2	0,0
PRIMAVERA	462,2	260,9	175,8
VERÃO	681,7	43,2	339,0
OUTONO	23,2	201,0	0,0
ANUAL	1.167,6	774,4	514,8

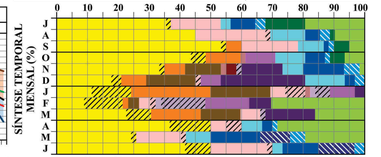
ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	1,3	59,0	0,0
DES. VEGETATIVO	230,7	110,3	51,8
FLORAÇÃO	299,7	10,0	169,4
FRUTIFICAÇÃO	293,1	9,3	168,1
MATURAÇÃO	69,6	10,5	22,2
TOTAL	894,4	199,1	411,4

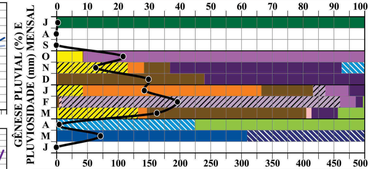
Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

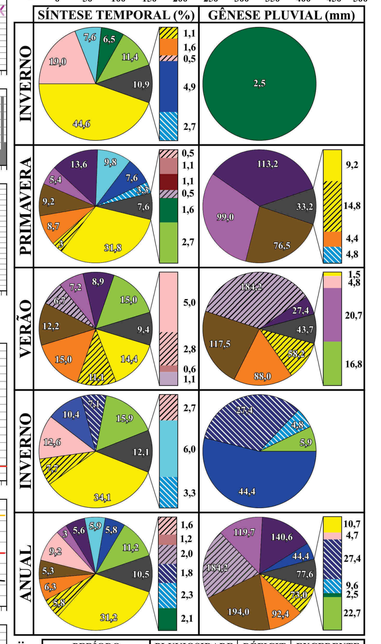
APÊNDICE F - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE JANUÁRIA/MG (E5) - ANO 2004/2005



RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL







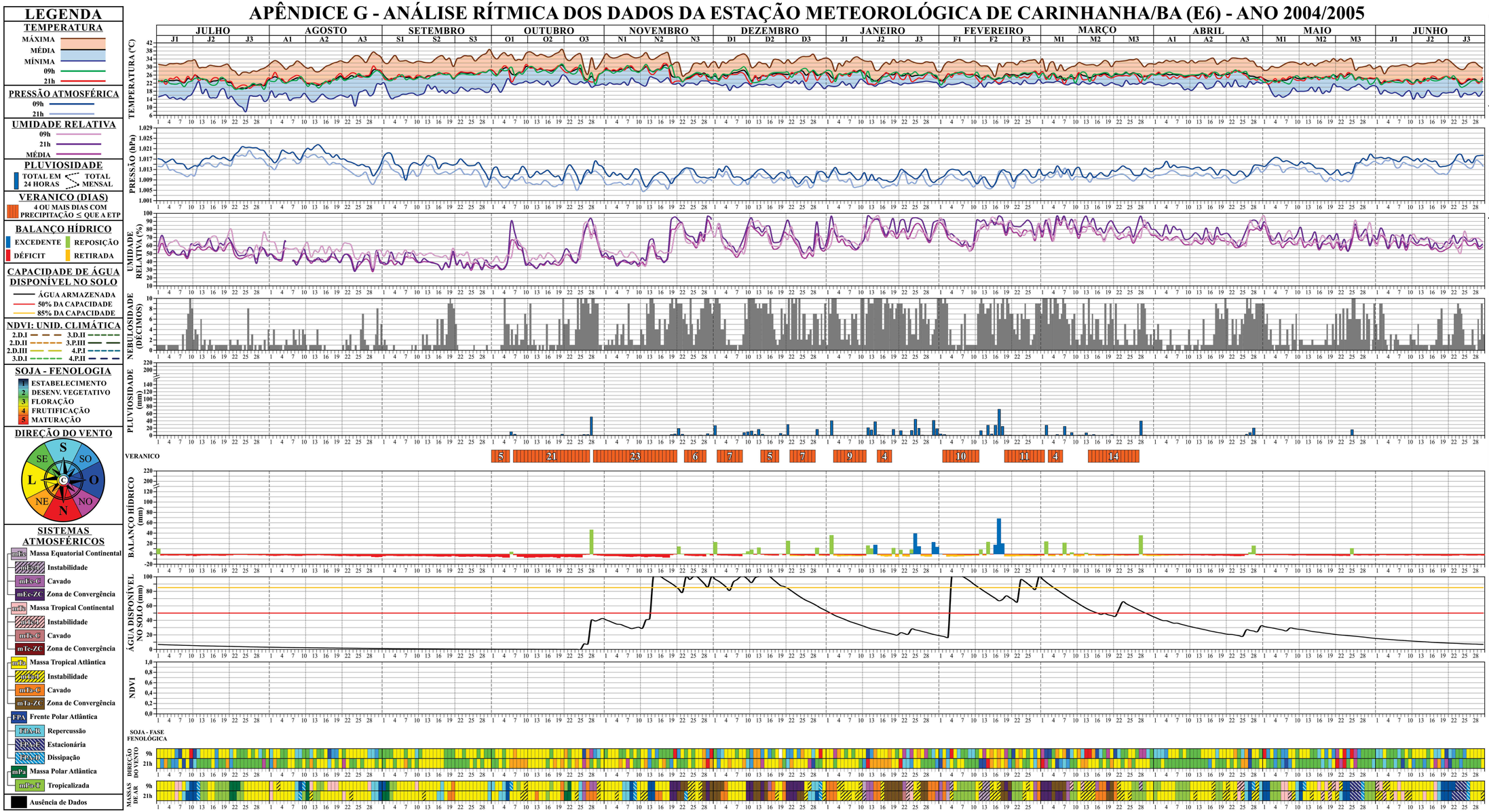
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	2,5	214,8	0,0
PRIMAVERA	324,9	192,1	23,4
VERÃO	519,0	69,6	229,6
OUTONO	82,5	156,9	0,0
ANUAL	925,9	633,5	253,0

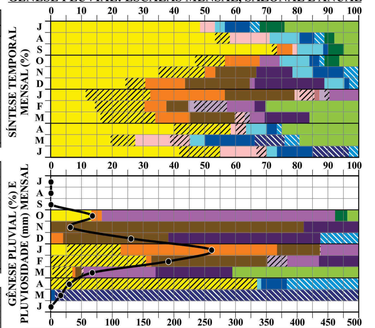
ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	-	-	-
DES. VEGETATIVO	-	-	-
FLORAÇÃO	-	-	-
FRUTIFICAÇÃO	-	-	-
MATURAÇÃO	-	-	-
TOTAL	-	-	-

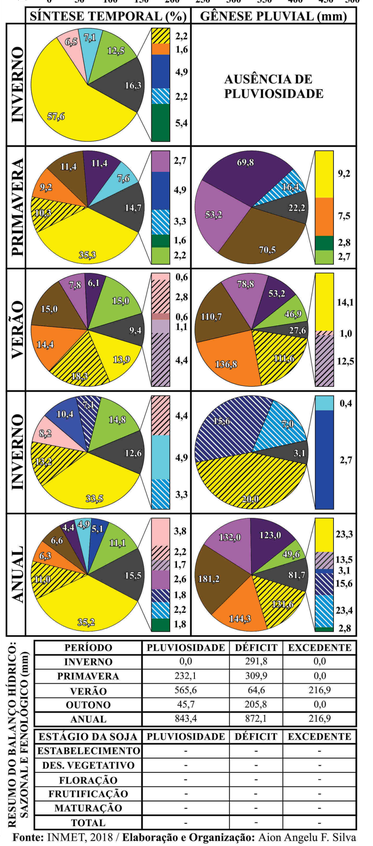
Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE G - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CARINHANHA/BA (E6) - ANO 2004/2005



RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL

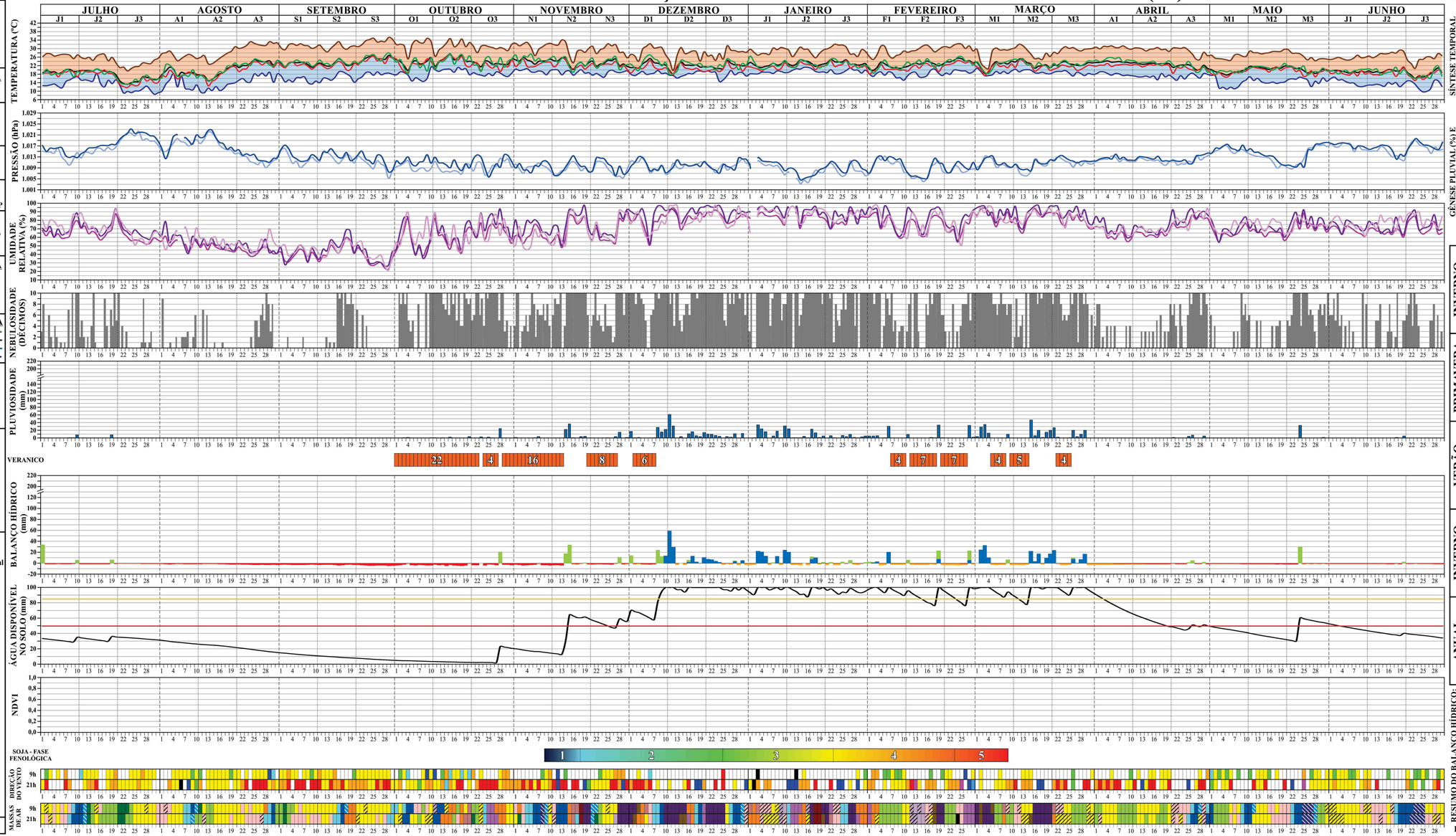




RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO: SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)			
PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	0,0	291,8	0,0
PRIMAVERA	232,1	309,9	0,0
VERÃO	565,6	64,6	216,9
OUTONO	45,7	205,8	0,0
ANUAL	843,4	872,1	216,9
ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	-	-	-
DES. VEGETATIVO	-	-	-
FLORAÇÃO	-	-	-
FRUTIFICAÇÃO	-	-	-
MATURAÇÃO	-	-	-
TOTAL	-	-	-

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE H - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PATOS DE MINAS/MG (E7) - ANO 2004/2005



LEGENDA

TEMPERATURA
- MÁXIMA
- MÉDIA
- MÍNIMA
- 09h
- 21h

PRESSÃO ATMOSFÉRICA
- 09h
- 21h

UMIDADE RELATIVA
- 09h
- 21h
- MÉDIA

PLUVIOSIDADE
- TOTAL EM 24 HORAS
- TOTAL MENSAL

VERANICO (DIAS)
- 4 OU MAIS DIAS COM PRECIPITAÇÃO ≤ QUE A ETP

BALANÇO HÍDRICO
- EXCEDENTE
- REPOSIÇÃO
- DÉFICIT
- RETIRADA

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
- ÁGUA ARMAZENADA
- 50% DA CAPACIDADE
- 85% DA CAPACIDADE

NDVI: UNID. CLIMÁTICA
- 2.D.I
- 2.D.II
- 2.D.III
- 3.D.I
- 3.D.II
- 3.P.III
- 4.P.I
- 4.P.II

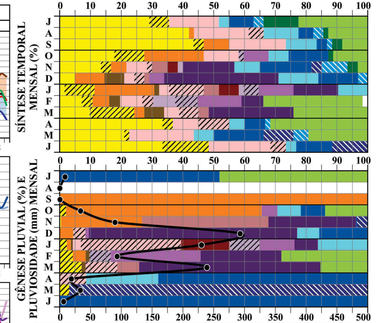
SOJA - FENOLOGIA
1. ESTABELECIMENTO
2. DESENV. VEGETATIVO
3. FLORAÇÃO
4. FRUTIFICAÇÃO
5. MATURAÇÃO

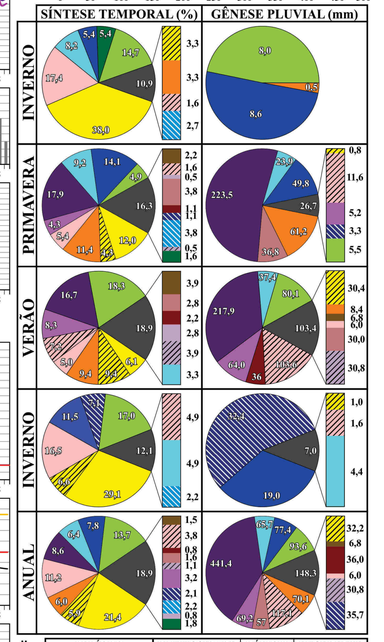
DIREÇÃO DO VENTO

S, SO, O, NO, N, NE, L, SE, C

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS
- mEs: Massa Equatorial Continental
- mEs-I: Instabilidade
- mEs-C: Cavado
- mEs-ZC: Zona de Convergência
- mTs: Massa Tropical Continental
- mTs-I: Instabilidade
- mTs-C: Cavado
- mTs-ZC: Zona de Convergência
- mTa: Massa Tropical Atlântica
- mTa-I: Instabilidade
- mTa-C: Cavado
- mTa-ZC: Zona de Convergência
- FPA: Frente Polar Atlântica
- FPA-R: Repercussão
- FPA-E: Estacionária
- FPA-D: Dissipação
- mPa: Massa Polar Atlântica
- mPa-T: Tropicalizada
- Ausência de Dados

RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





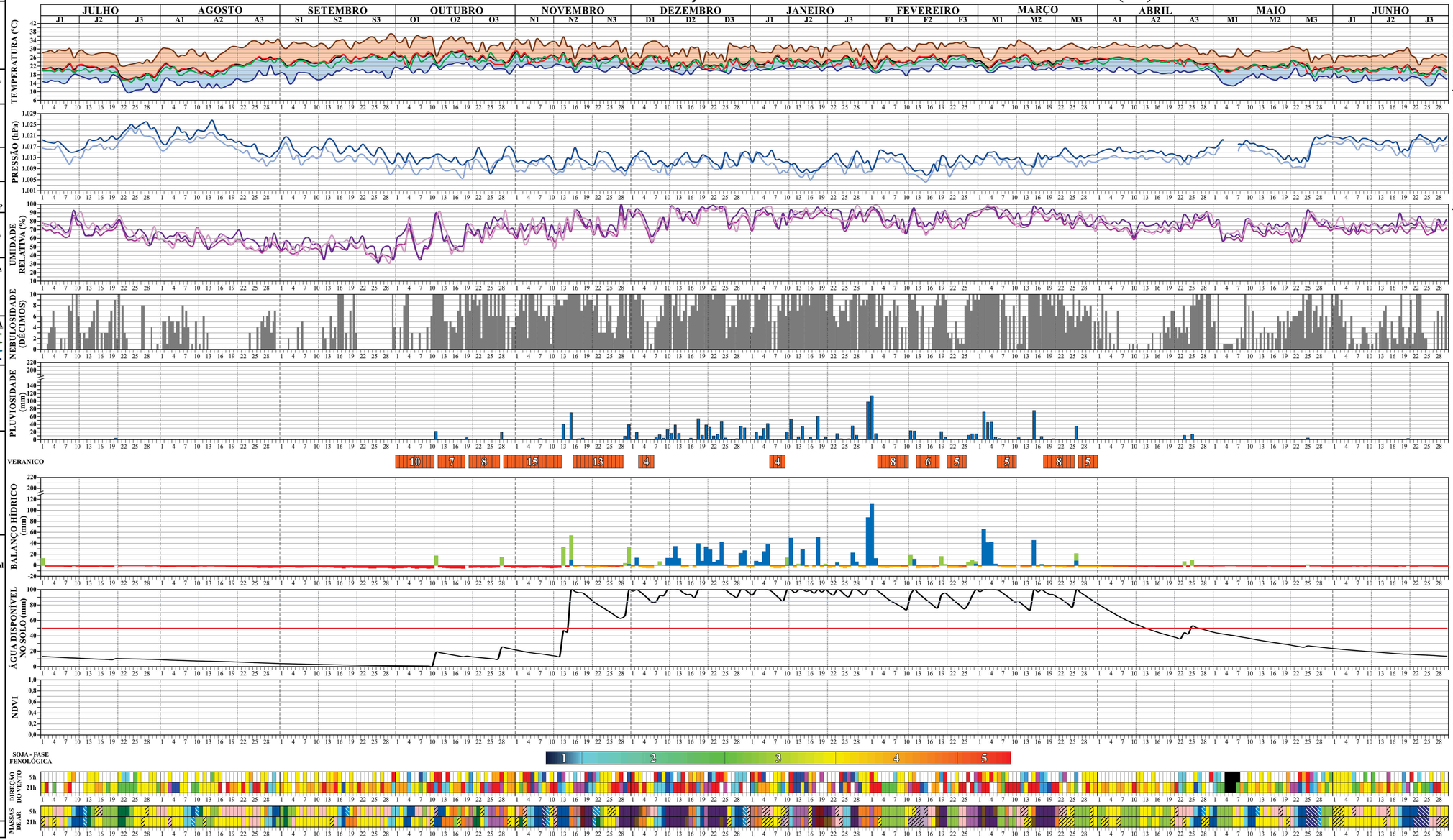
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO: SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	17,1	176,7	0,0
PRIMAVERA	421,9	151,2	160,4
VERÃO	642,4	13,2	363,6
OUTONO	58,4	93,1	0,0
ANUAL	1.139,8	434,1	524,0

ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	8,3	28,9	0,0
DES. VEGETATIVO	134,2	71,4	0,0
FLORAÇÃO	308,2	5,1	182,7
FRUTIFICAÇÃO	247,8	1,9	134,6
MATURAÇÃO	44,7	4,1	7,7
TOTAL	743,2	111,4	325,0

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE I - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PARACATU/MG (E8) - ANO 2004/2005



LEGENDA

TEMPERATURA
MÁXIMA
MÉDIA
MÍNIMA
09h
21h

PRESSÃO ATMOSFÉRICA
09h
21h

UMIDADE RELATIVA
09h
21h
MÉDIA

PLUVIOSIDADE
TOTAL EM 24 HORAS
TOTAL MENSAL

VERANICO (DIAS)
4 OU MAIS DIAS COM PRECIPITAÇÃO ≤ QUE A ETP

BALANÇO HÍDRICO
EXCEDENTE
REPOSIÇÃO
DÉFICIT
RETIRADA

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
ÁGUA ARMAZENADA
50% DA CAPACIDADE
85% DA CAPACIDADE

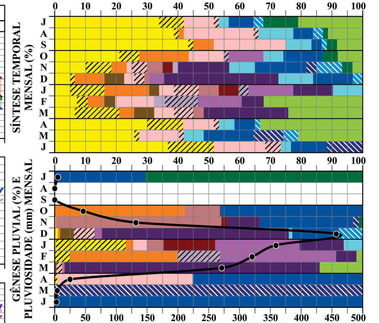
NDVI: UNID. CLIMÁTICA
2.D.I
2.D.II
2.D.III
3.D.I
3.D.II
3.P.III
4.P.I
4.P.II

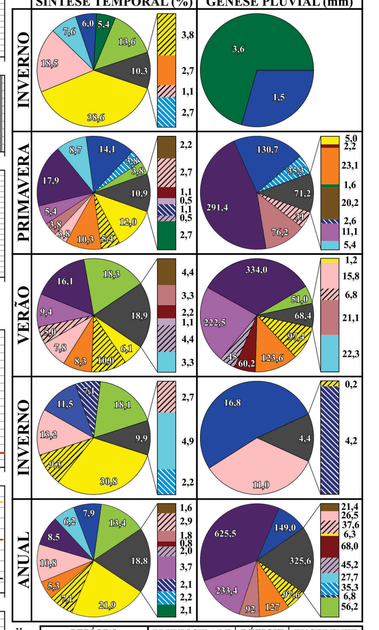
SOJA - FENOLOGIA
1 ESTABELECIMENTO
2 DESENV. VEGETATIVO
3 FLORAÇÃO
4 FRUTIFICAÇÃO
5 MATURAÇÃO

DIREÇÃO DO VENTO

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS
- mEs — Massa Equatorial Continental
- mEs-I — Instabilidade
- mEs-C — Cavado
- mEs-ZC — Zona de Convergência
- mTs — Massa Tropical Continental
- mTs-I — Instabilidade
- mTs-C — Cavado
- mTs-ZC — Zona de Convergência
- mTa — Massa Tropical Atlântica
- mTa-I — Instabilidade
- mTa-C — Cavado
- mTa-ZC — Zona de Convergência
- FPA — Frente Polar Atlântica
- FPA-R — Repercussão
- FPA-E — Estacionária
- FPA-D — Dissipação
- mPa — Massa Polar Atlântica
- mPa-T — Tropicalizada
- Ausência de Dados

RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO: SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	5,1	237,0	0,0
PRIMAVERA	635,8	175,1	328,0
VERÃO	1.002,0	22,4	686,9
OUTONO	32,2	139,9	0,0
ANUAL	1.675,1	574,3	1.014,9

ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	5,5	38,2	0,0
DES. VEGETATIVO	210,0	71,8	27,8
FLORAÇÃO	427,4	2,5	314,5
FRUTIFICAÇÃO	559,4	4,1	445,7
MATURAÇÃO	72,9	6,4	12,1
TOTAL	1.275,2	123,0	800,1

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE J - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE FORMOSO/MG (E9) - ANO 2004/2005

LEGENDA

TEMPERATURA
MÁXIMA
MÉDIA
MÍNIMA
09h
21h

PRESSÃO ATMOSFÉRICA
09h
21h

UMIDADE RELATIVA
09h
21h
MÉDIA

PLUVIOSIDADE
TOTAL EM 24 HORAS
TOTAL MENSAL

VERANICO (DIAS)
4 OU MAIS DIAS COM PRECIPITAÇÃO ≤ QUE A ETP

BALANÇO HÍDRICO
EXCEDENTE
REPOSIÇÃO
DÉFICIT
RETIRADA

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
ÁGUA ARMAZENADA
50% DA CAPACIDADE
85% DA CAPACIDADE

NDVI: UNID. CLIMÁTICA
2.D.I
2.D.II
2.D.III
3.D.I
3.D.II
3.P.III
4.P.I
4.P.II

SOJA - FENOLOGIA
1 ESTABELECIMENTO
2 DESENV. VEGETATIVO
3 FLORAÇÃO
4 FRUTIFICAÇÃO
5 MATURAÇÃO

DIREÇÃO DO VENTO

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS
mEs Massa Equatorial Continental
mEs-I Instabilidade
mEs-C Cavado
mEs-ZC Zona de Convergência
mTs Massa Tropical Continental
mTs-I Instabilidade
mTs-C Cavado
mTs-ZC Zona de Convergência
mTa Massa Tropical Atlântica
mTa-I Instabilidade
mTa-C Cavado
mTa-ZC Zona de Convergência
FPA Frente Polar Atlântica
FPA-R Repercussão
FPA-E Estacionária
FPA-D Dissipação
mPa Massa Polar Atlântica
mPa-T Tropicalizada
Ausência de Dados

JULHO (J1 J2 J3) | AGOSTO (A1 A2 A3) | SETEMBRO (S1 S2 S3) | OUTUBRO (O1 O2 O3) | NOVEMBRO (N1 N2 N3) | DEZEMBRO (D1 D2 D3) | JANEIRO (J1 J2 J3) | FEVEREIRO (F1 F2 F3) | MARÇO (M1 M2 M3) | ABRIL (A1 A2 A3) | MAIO (M1 M2 M3) | JUNHO (J1 J2 J3)

TEMPERATURA (°C)

PRESSÃO (hPa)

UMIDADE RELATIVA (%)

NEBULOSIDADE (DÉCIMOS)

PLUVIOSIDADE (mm)

VERANICO: 10 | 11 | 14 | 4 | 7 | 4 | 6 | 4 | 8 | 4 | 5 | 4

BALANÇO HÍDRICO (mm)

ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO (mm)

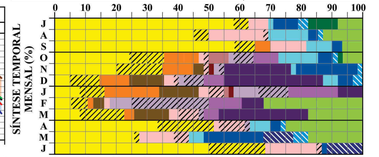
NDVI

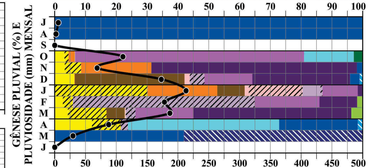
SOJA - FASE FENOLÓGICA: 1 | 2 | 3 | 4 | 5

DIREÇÃO DO VENTO (9h, 21h)

MASSAS DE AR (9h, 21h)

RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





SÍNTESE TEMPORAL (%)	GÊNESE PLUVIAL (mm)
INVERNO	
PRIMAVERA	
VERÃO	
INVERNO	
ANUAL	

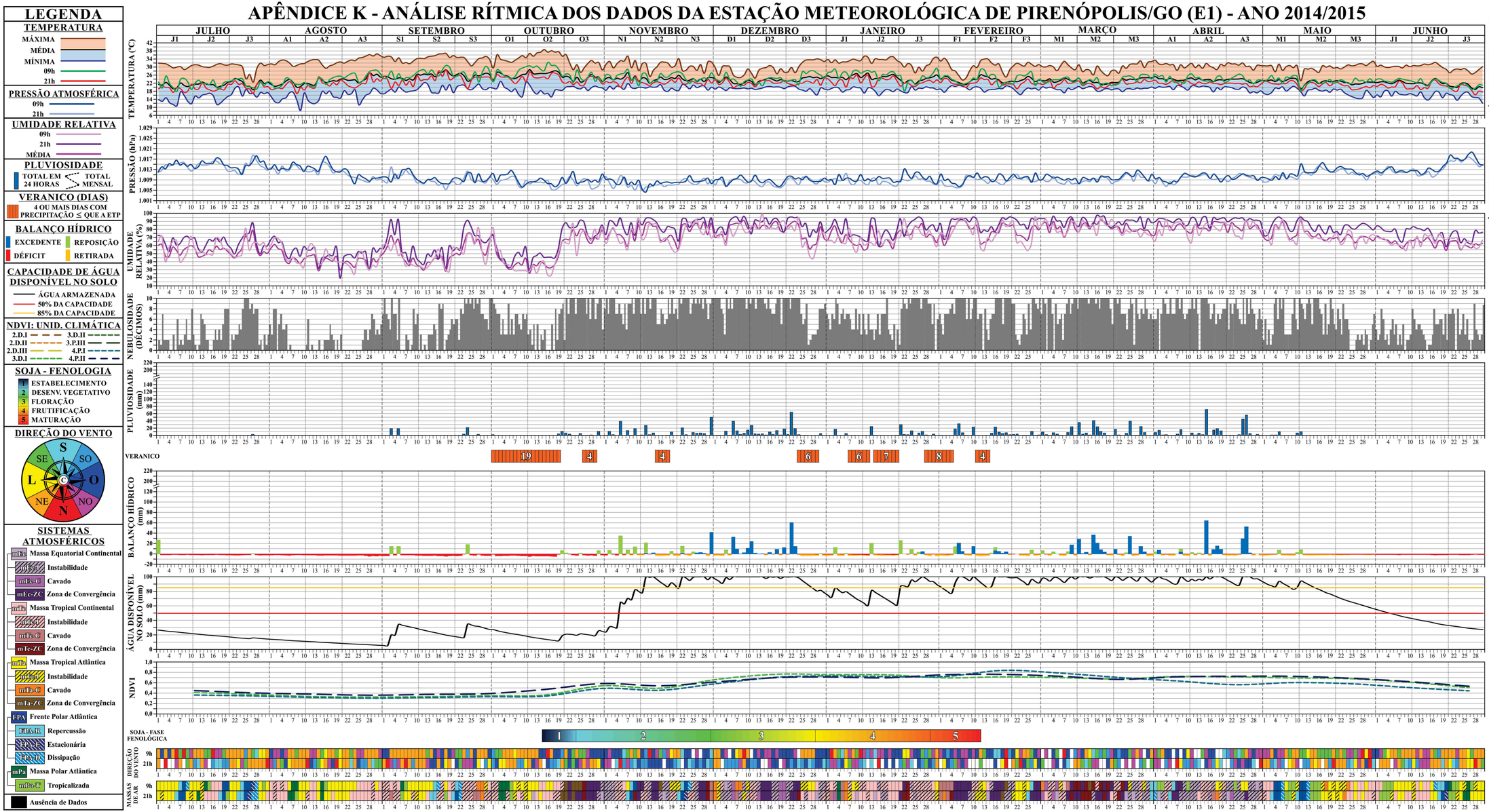
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO E SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	8,9	230,4	0,0
PRIMAVERA	352,8	141,8	34,6
VERÃO	588,9	15,9	287,4
OUTONO	117,3	91,2	10,4
ANUAL	1.067,9	479,3	332,3

ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	22,5	29,6	0,0
DES. VEGETATIVO	216,5	42,1	14,3
FLORAÇÃO	136,5	6,8	23,5
FRUTIFICAÇÃO	221,6	6,6	116,1
MATURAÇÃO	93,6	3,1	32,1
TOTAL	690,7	88,2	186,0

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE K - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PIRENÓPOLIS/GO (E1) - ANO 2014/2015



LEGENDA

TEMPERATURA
MÁXIMA
MÉDIA
MÍNIMA
09h
21h

PRESSÃO ATMOSFÉRICA
09h
21h

UMIDADE RELATIVA
09h
21h
MÉDIA

PLUVIOSIDADE
TOTAL EM 24 HORAS
TOTAL MENSAL

VERANICO (DIAS)
4 OU MAIS DIAS COM PRECIPITAÇÃO ≤ QUE A ETP

BALANÇO HÍDRICO
EXCEDENTE
REPOSIÇÃO
DÉFICIT
RETIRADA

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
ÁGUA ARMAZENADA
50% DA CAPACIDADE
85% DA CAPACIDADE

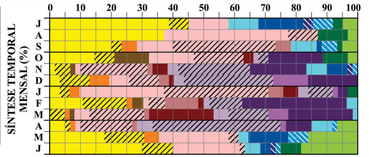
NDVI: UNID. CLIMÁTICA
2.D.I
2.D.II
2.D.III
3.D.I
3.D.II
3.P.III
4.P.I
4.P.II

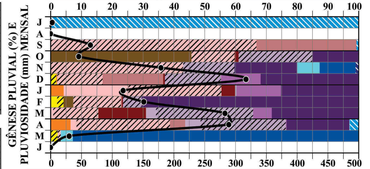
SOJA - FENOLOGIA
1 ESTABELECIMENTO
2 DESENV. VEGETATIVO
3 FLORAÇÃO
4 FRUTIFICAÇÃO
5 MATURAÇÃO

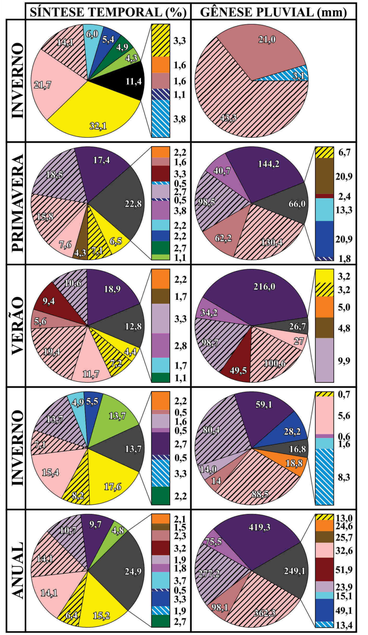
DIREÇÃO DO VENTO

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS
mEs Massa Equatorial Continental
mEs-I Instabilidade
mEs-C Cavado
mEs-ZC Zona de Convergência
mTs Massa Tropical Continental
mTs-I Instabilidade
mTs-C Cavado
mTs-ZC Zona de Convergência
mTa Massa Tropical Atlântica
mTa-I Instabilidade
mTa-C Cavado
mTa-ZC Zona de Convergência
FPA Frente Polar Atlântica
FPA-R Repercussão
FPA-E Estacionária
FPA-D Dissipação
mPa Massa Polar Atlântica
mPa-T Tropicalizada
Ausência de Dados

RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL







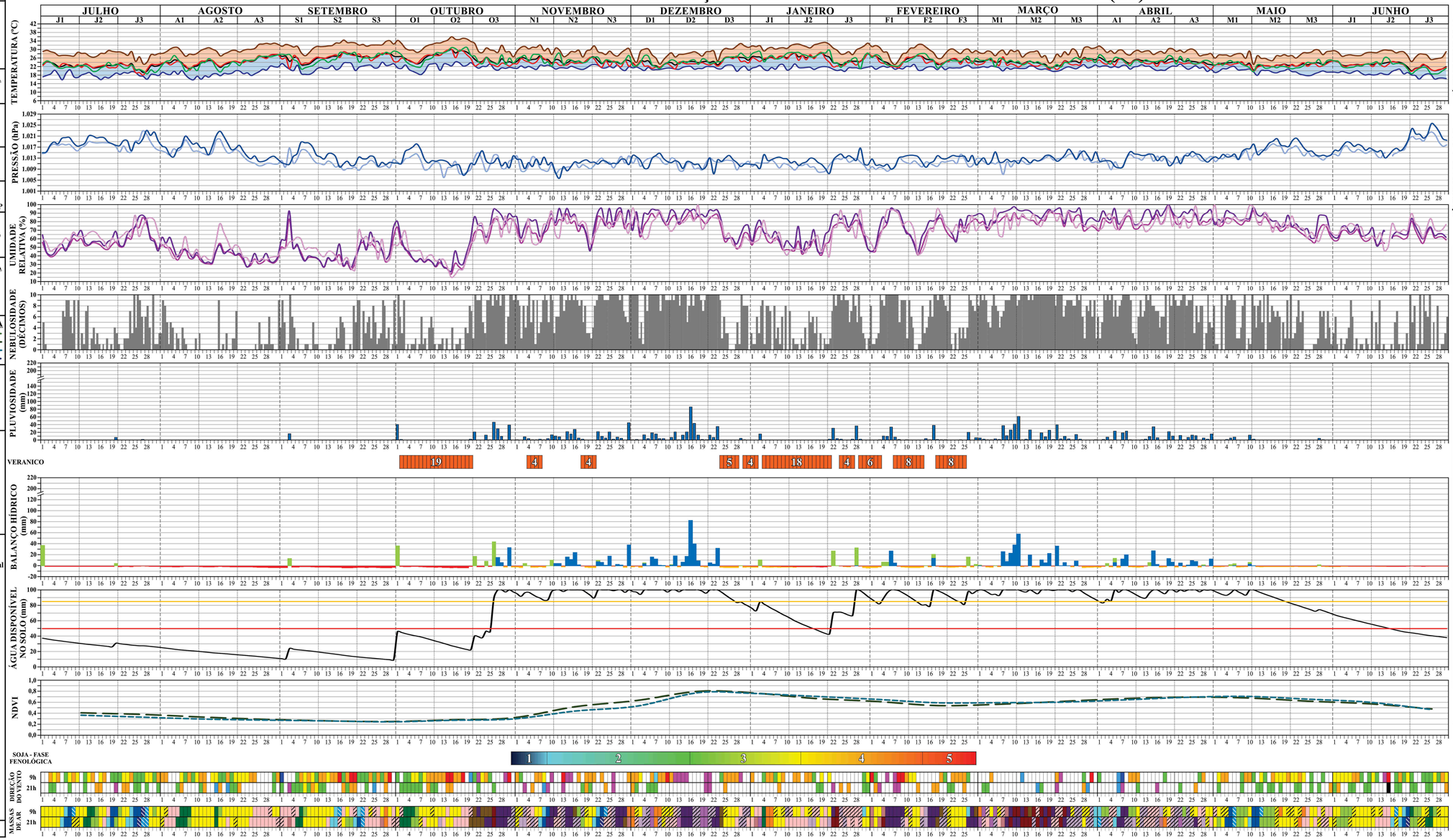
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO: SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	67,4	217,2	0,0
PRIMAVERA	542,0	100,3	238,9
VERÃO	552,3	27,3	247,2
OUTONO	319,8	60,5	193,6
ANUAL	1.481,5	405,4	679,7

ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	30,3	20,1	0,0
DES. VEGETATIVO	255,3	25,3	54,2
FLORAÇÃO	271,2	5,3	184,6
FRUTIFICAÇÃO	159,4	21,6	30,7
MATURAÇÃO	81,0	1,4	32,5
TOTAL	797,2	73,7	302,1

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE L - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BRASÍLIA/DF (E2) - ANO 2014/2015



LEGENDA

TEMPERATURA
- MÁXIMA
- MÉDIA
- MÍNIMA
- 09h
- 21h

PRESSÃO ATMOSFÉRICA
- 09h
- 21h

UMIDADE RELATIVA
- 09h
- 21h
- MÉDIA

PLUVIOSIDADE
- TOTAL EM 24 HORAS
- TOTAL MENSAL

VERANICO (DIAS)
- 4 OU MAIS DIAS COM PRECIPITAÇÃO ≤ QUE A ETP

BALANÇO HÍDRICO
- EXCEDENTE
- REPOSIÇÃO
- DÉFICIT
- RETIRADA

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
- ÁGUA ARMAZENADA
- 50% DA CAPACIDADE
- 85% DA CAPACIDADE

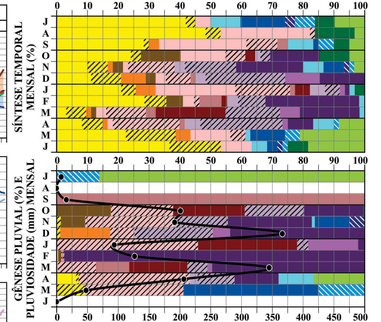
NDVI: UNID. CLIMÁTICA
- 2.D.I
- 2.D.II
- 2.D.III
- 3.D.I
- 3.D.II
- 3.P.III
- 4.P.I
- 4.P.II

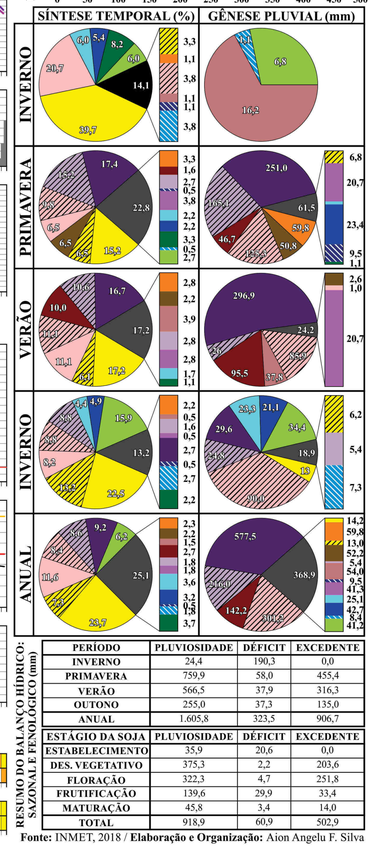
SOJA - FENOLOGIA
1. ESTABELECIMENTO
2. DESENV. VEGETATIVO
3. FLORAÇÃO
4. FRUTIFICAÇÃO
5. MATURAÇÃO

DIREÇÃO DO VENTO

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS
- mEs: Massa Equatorial Continental
- mEs-I: Instabilidade
- mEs-C: Cavado
- mEs-ZC: Zona de Convergência
- mTs: Massa Tropical Continental
- mTs-I: Instabilidade
- mTs-C: Cavado
- mTs-ZC: Zona de Convergência
- mTa: Massa Tropical Atlântica
- mTa-I: Instabilidade
- mTa-C: Cavado
- mTa-ZC: Zona de Convergência
- FPA: Frente Polar Atlântica
- FPA-R: Repercussão
- FPA-E: Estacionária
- FPA-D: Dissipação
- mPa: Massa Polar Atlântica
- mPa-T: Tropicalizada
- Ausência de Dados

RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





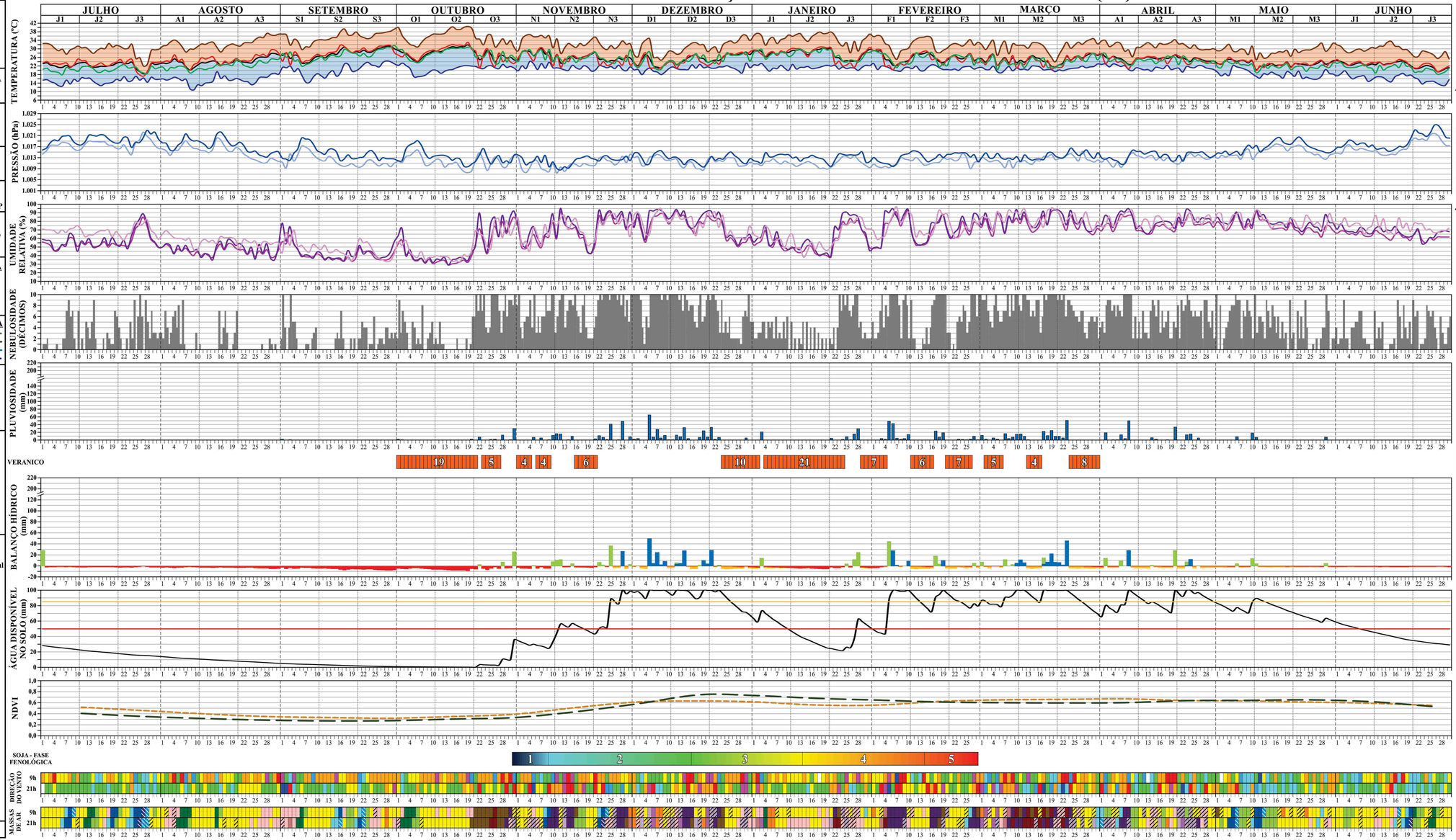
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO E SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	24,4	190,3	0,0
PRIMAVERA	759,9	58,0	455,4
VERÃO	566,5	37,9	316,3
OUTONO	255,0	37,3	135,0
ANUAL	1.605,8	323,5	906,7

ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	35,9	20,6	0,0
DES. VEGETATIVO	375,3	2,2	203,6
FLORAÇÃO	322,3	4,7	251,8
FRUTIFICAÇÃO	139,6	29,9	33,4
MATURAÇÃO	45,8	3,4	14,0
TOTAL	918,9	60,9	502,9

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE M - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE UNAÍ/MG (E3) - ANO 2014/2015



LEGENDA

TEMPERATURA
MÁXIMA
MÉDIA
MÍNIMA
09h
21h

PRESSÃO ATMOSFÉRICA
09h
21h

UMIDADE RELATIVA
09h
21h
MÉDIA

PLUVIOSIDADE
TOTAL EM 24 HORAS
TOTAL MENSAL

VERANICO (DIAS)
4 OU MAIS DIAS COM PRECIPITAÇÃO ≤ QUE A ETP

BALANÇO HÍDRICO
EXCEDENTE
REPOSIÇÃO
DÉFICIT
RETIRADA

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
ÁGUA ARMAZENADA
50% DA CAPACIDADE
85% DA CAPACIDADE

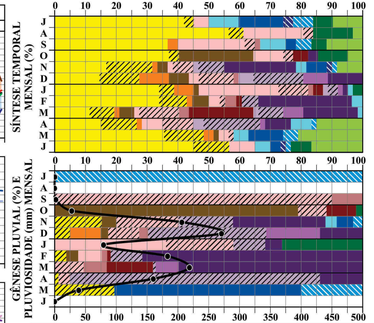
NDVI: UNID. CLIMÁTICA
2.D.I
2.D.II
2.D.III
3.D.I
3.D.II
3.P.III
4.P.I
4.P.II

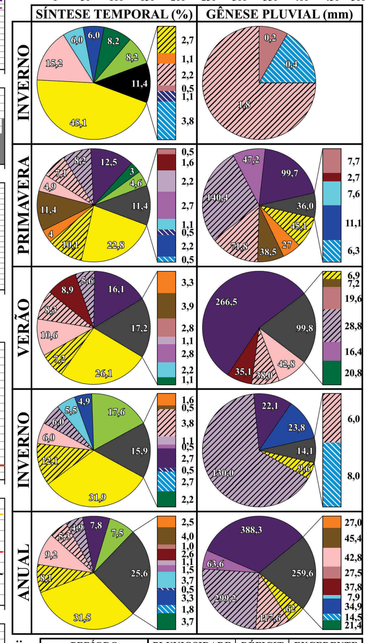
SOJA - FENOLOGIA
1 ESTABELECIMENTO
2 DESENV. VEGETATIVO
3 FLORAÇÃO
4 FRUTIFICAÇÃO
5 MATURAÇÃO

DIREÇÃO DO VENTO

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS
mEa Massa Equatorial Continental
mEa-I Instabilidade
mEa-C Cavado
mEa-ZC Zona de Convergência
mTa Massa Tropical Continental
mTa-I Instabilidade
mTa-C Cavado
mTa-ZC Zona de Convergência
mTa Massa Tropical Atlântica
mTa-I Instabilidade
mTa-C Cavado
mTa-ZC Zona de Convergência
FPA Frente Polar Atlântica
FPA-R Repercussão
FPA-E Estacionária
FPA-D Dissipação
mPa Massa Polar Atlântica
mPa-T Tropicalizada
Ausência de Dados

RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





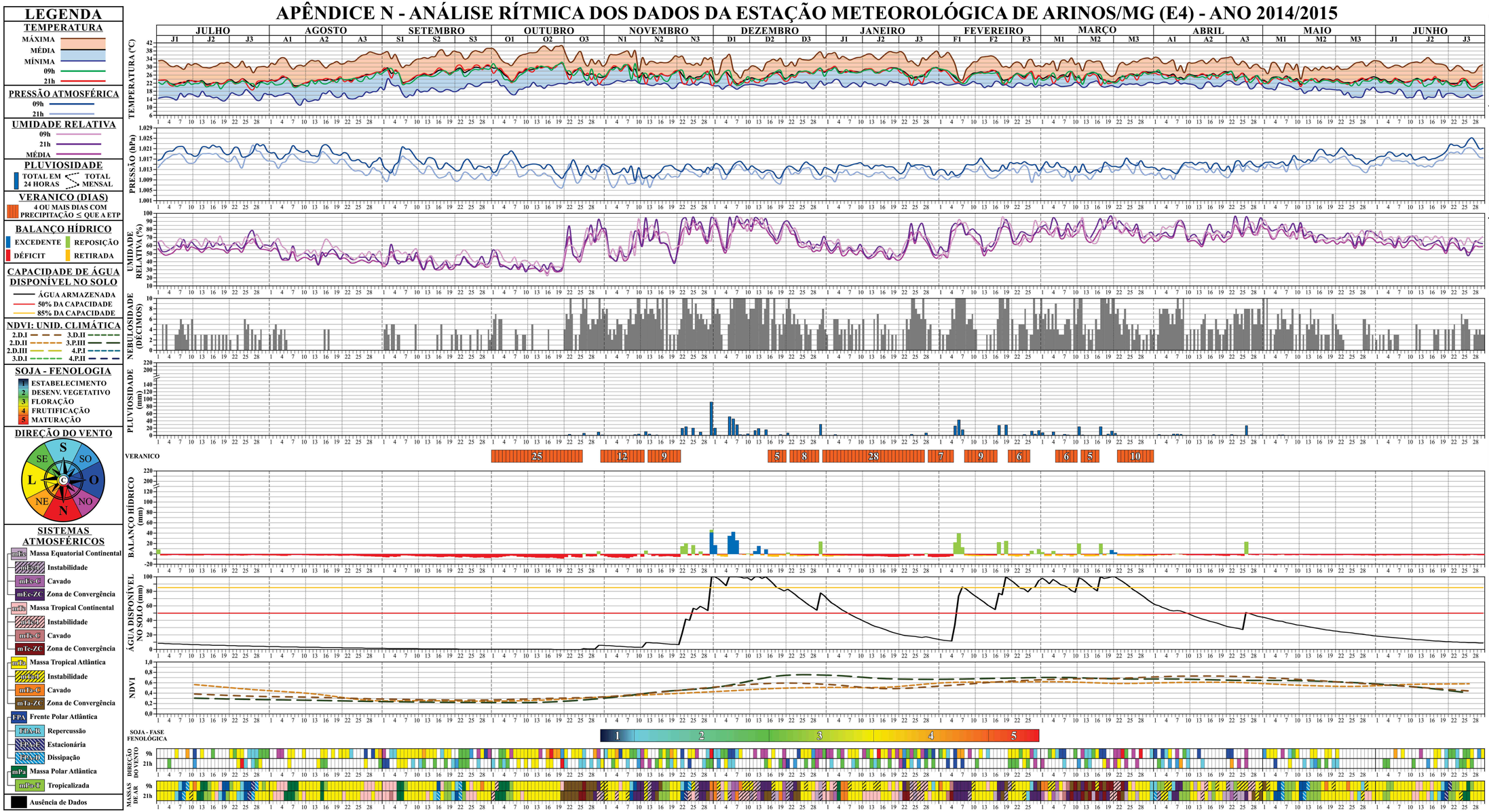
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	2,4	300,8	0,0
PRIMAVERA	505,7	208,6	200,4
VERÃO	482,2	111,6	169,4
OUTONO	199,6	72,3	42,4
ANUAL	1.189,9	693,3	412,1

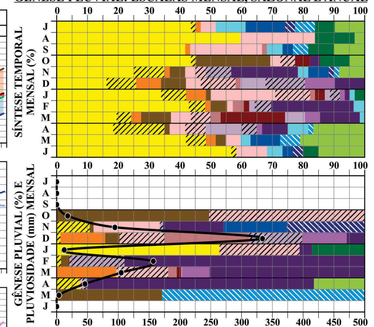
ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	10,5	57,7	0,0
DES. VEGETATIVO	235,0	62,8	27,2
FLORAÇÃO	278,5	12,5	173,2
FRUTIFICAÇÃO	159,8	89,2	30,3
MATURAÇÃO	68,1	5,5	19,4
TOTAL	751,9	227,8	250,1

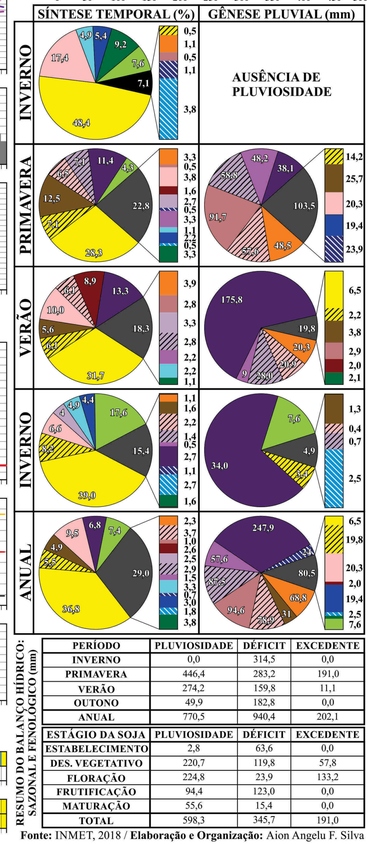
Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE N - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ARINOS/MG (E4) - ANO 2014/2015



RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





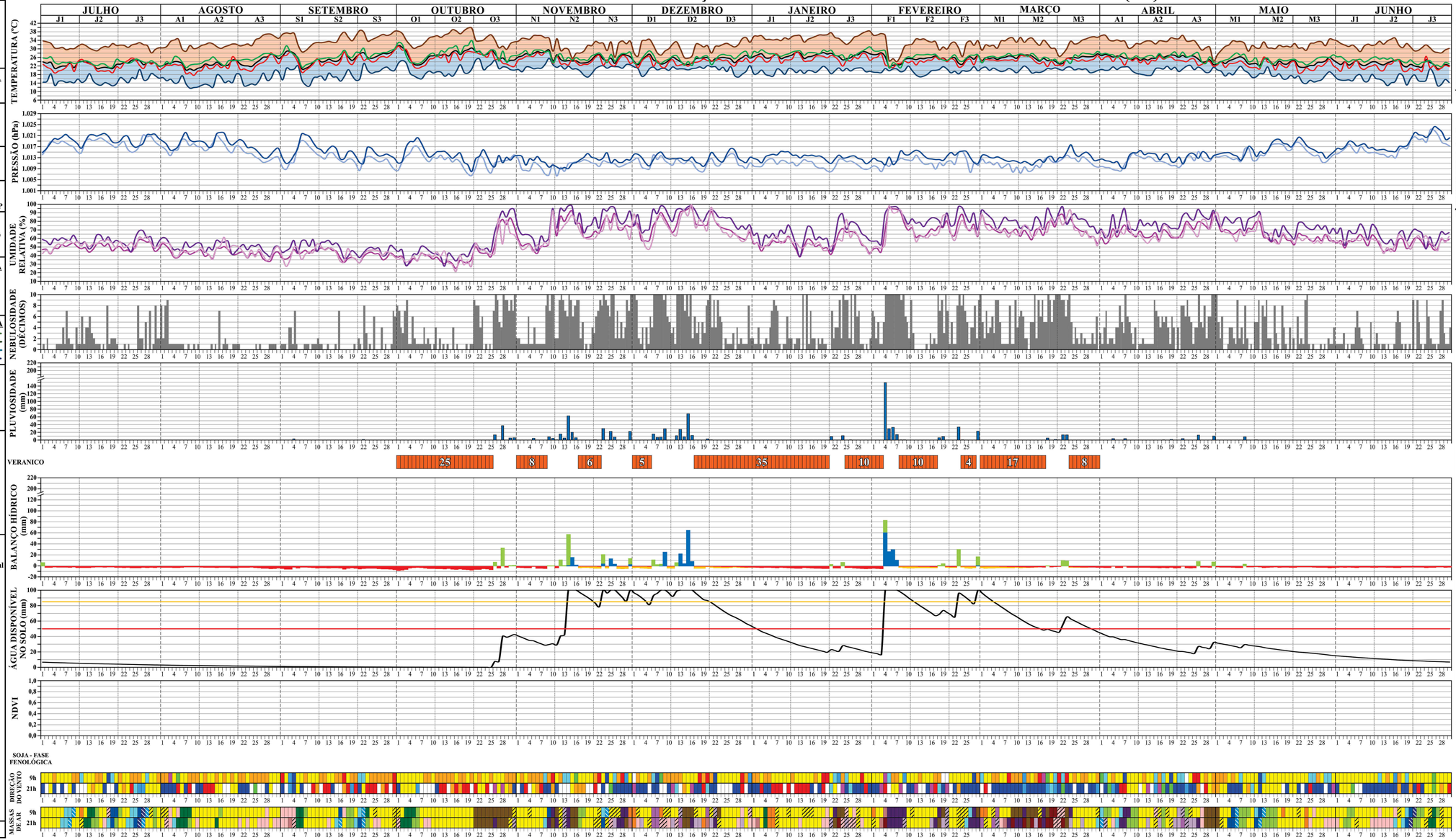
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO: SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	0,0	314,5	0,0
PRIMAVERA	446,4	283,2	191,0
VERÃO	274,2	159,8	11,1
OUTONO	49,9	182,8	0,0
ANUAL	770,5	940,4	202,1

ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	2,8	63,6	0,0
DES. VEGETATIVO	220,7	119,8	57,8
FLORAÇÃO	224,8	23,9	133,2
FRUTIFICAÇÃO	94,4	123,0	0,0
MATURAÇÃO	55,6	15,4	0,0
TOTAL	598,3	345,7	191,0

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE O - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE JANUÁRIA/MG (E5)- ANO 2014/2015



LEGENDA

TEMPERATURA
MÁXIMA
MÉDIA
MÍNIMA
09h
21h

PRESSÃO ATMOSFÉRICA
09h
21h

UMIDADE RELATIVA
09h
21h
MÉDIA

PLUVIOSIDADE
TOTAL EM 24 HORAS
TOTAL MENSAL

VERANICO (DIAS)
4 OU MAIS DIAS COM PRECIPITAÇÃO ≤ QUE A ETP

BALANÇO HÍDRICO
EXCEDENTE
REPOSIÇÃO
DÉFICIT
RETIRADA

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
ÁGUA ARMAZENADA
50% DA CAPACIDADE
85% DA CAPACIDADE

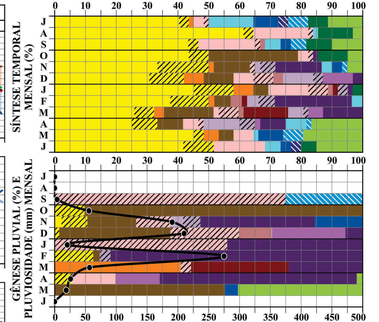
NDVI: UNID. CLIMÁTICA
2.D.I
2.D.II
2.D.III
3.D.I
3.D.II
3.P.III
4.P.I
4.P.II

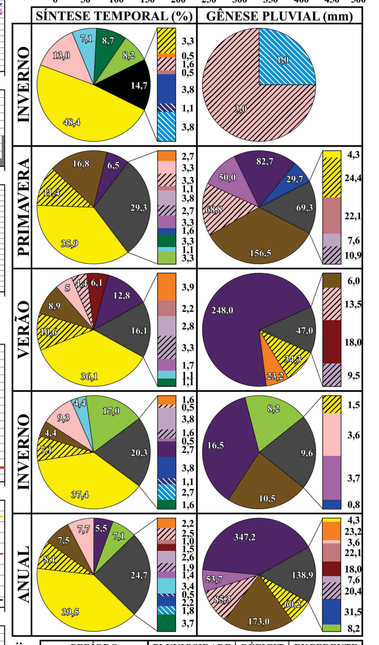
SOJA - FENOLOGIA
1 ESTABELECIMENTO
2 DESENV. VEGETATIVO
3 FLORAÇÃO
4 FRUTIFICAÇÃO
5 MATURAÇÃO

DIREÇÃO DO VENTO
S, SO, O, NO, N, NE, L, SE, C

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS
- mEs Massa Equatorial Continental
- mEs-I Instabilidade
- mEs-C Cavado
- mEs-ZC Zona de Convergência
- mTs Massa Tropical Continental
- mTs-I Instabilidade
- mTs-C Cavado
- mTs-ZC Zona de Convergência
- mTa Massa Tropical Atlântica
- mTa-I Instabilidade
- mTa-C Cavado
- mTa-ZC Zona de Convergência
- FPA Frente Polar Atlântica
- FPA-R Repercussão
- FPA-E Estacionária
- FPA-D Dissipação
- mPa Massa Polar Atlântica
- mPa-T Tropicalizada
- Ausência de Dados

RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





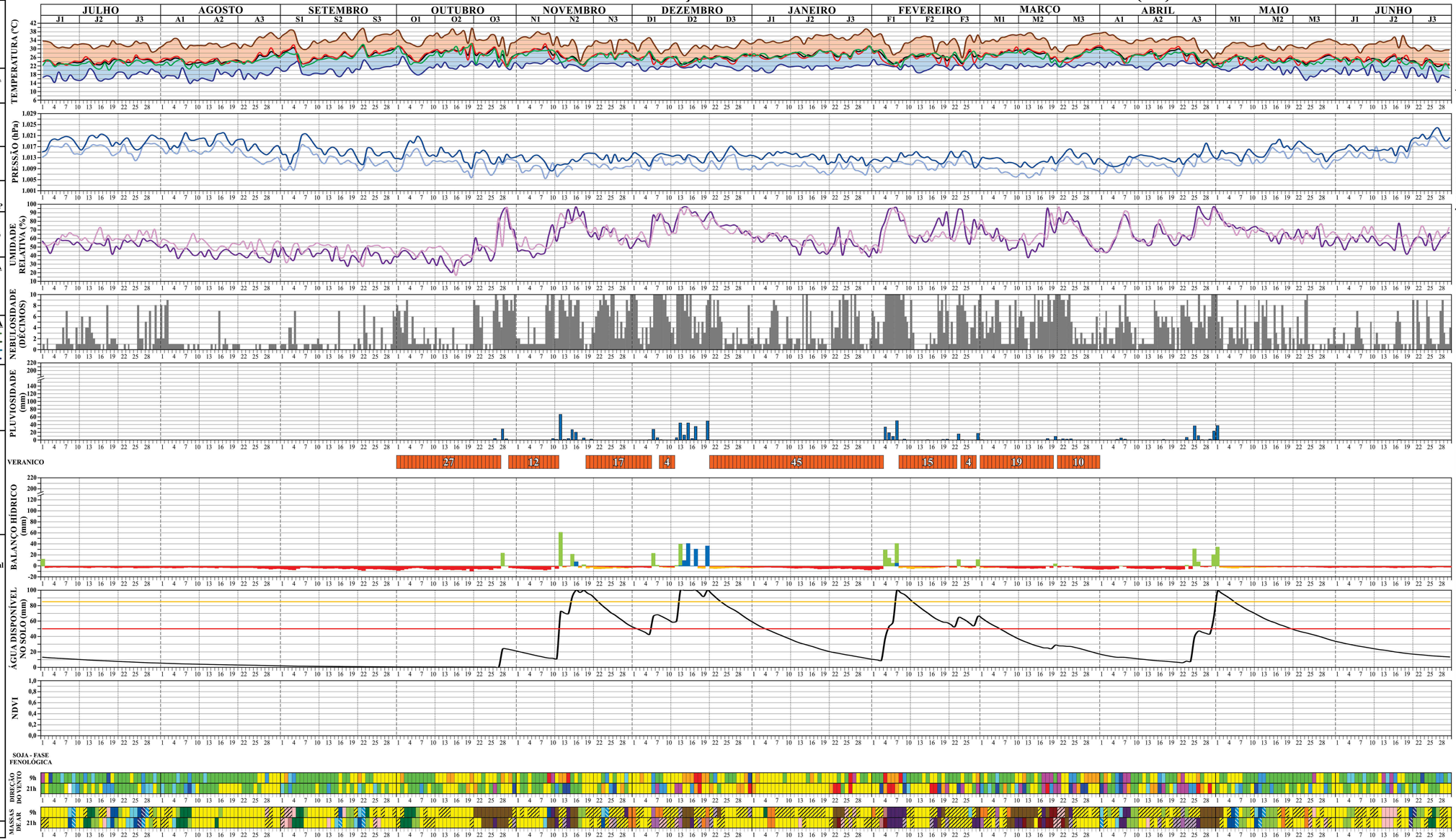
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO: SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	4,0	286,6	0,0
PRIMAVERA	457,0	190,6	172,0
VERÃO	352,5	170,3	129,8
OUTONO	44,8	212,3	0,0
ANUAL	858,3	859,8	301,8

ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	-	-	-
DES. VEGETATIVO	-	-	-
FLORAÇÃO	-	-	-
FRUTIFICAÇÃO	-	-	-
MATURAÇÃO	-	-	-
TOTAL	-	-	-

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE P - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CARINHANHA/BA (E6)- ANO 2014/2015



LEGENDA

TEMPERATURA
- MÁXIMA
- MÉDIA
- MÍNIMA
- 09h
- 21h

PRESSÃO ATMOSFÉRICA
- 09h
- 21h

UMIDADE RELATIVA
- 09h
- 21h
- MÉDIA

PLUVIOSIDADE
- TOTAL EM 24 HORAS
- TOTAL MENSAL

VERANICO (DIAS)
- 4 OU MAIS DIAS COM PRECIPITAÇÃO ≤ QUE A ETP

BALANÇO HÍDRICO
- EXCEDENTE
- REPOSIÇÃO
- DÉFICIT
- RETIRADA

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
- ÁGUA ARMAZENADA
- 50% DA CAPACIDADE
- 85% DA CAPACIDADE

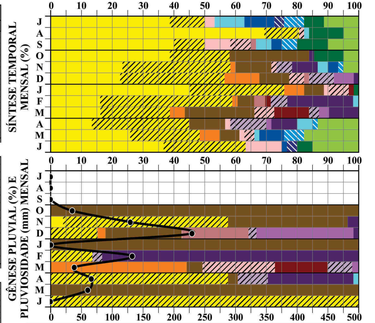
NDVI: UNID. CLIMÁTICA
- 2.D.I
- 2.D.II
- 2.D.III
- 3.D.I
- 3.D.II
- 3.P.III
- 4.P.I
- 4.P.II

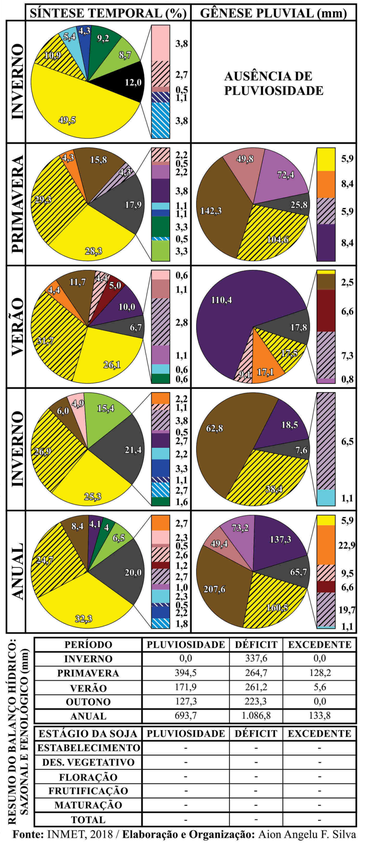
SOJA - FENOLOGIA
1. ESTABELECIMENTO
2. DESENV. VEGETATIVO
3. FLORAÇÃO
4. FRUTIFICAÇÃO
5. MATURAÇÃO

DIREÇÃO DO VENTO

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS
- mEa Massa Equatorial Continental
- mEa-I Instabilidade
- mEa-C Cavado
- mEa-ZC Zona de Convergência
- mTa Massa Tropical Continental
- mTa-I Instabilidade
- mTa-C Cavado
- mTa-ZC Zona de Convergência
- mTa Massa Tropical Atlântica
- mTa-I Instabilidade
- mTa-C Cavado
- mTa-ZC Zona de Convergência
- FPA Frente Polar Atlântica
- FEAR Repercussão
- FEAE Estacionária
- FEAD Dissipação
- mPa Massa Polar Atlântica
- mPa-T Tropicalizada
- Ausência de Dados

RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





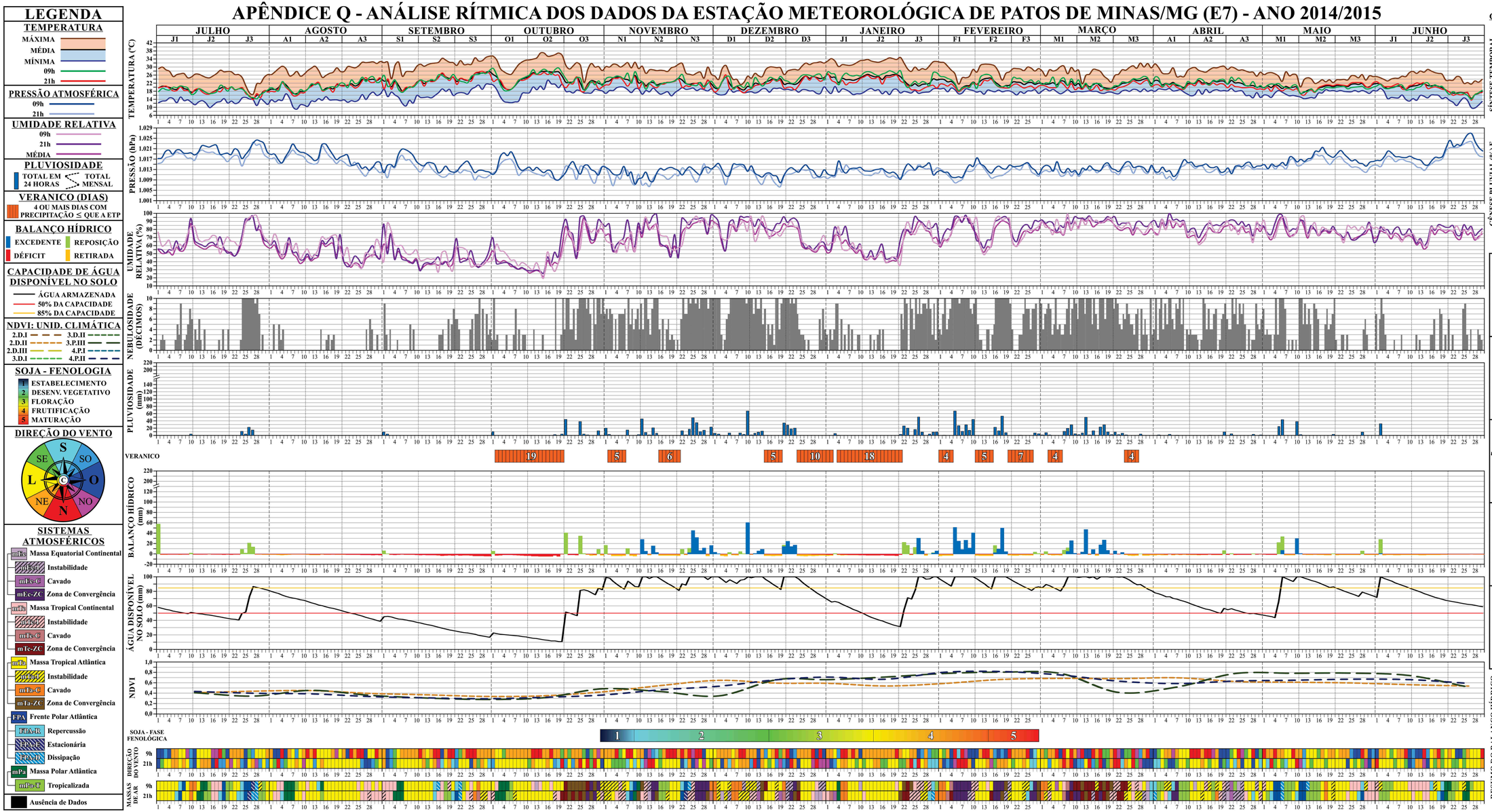
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO: SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	0,0	337,6	0,0
PRIMAVERA	394,5	264,7	128,2
VERÃO	171,9	261,2	5,6
OUTONO	127,3	223,3	0,0
ANUAL	693,7	1.086,8	133,8

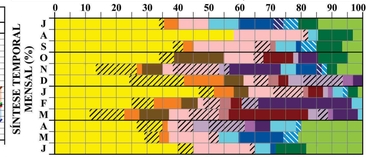
ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	-	-	-
DES. VEGETATIVO	-	-	-
FLORAÇÃO	-	-	-
FRUTIFICAÇÃO	-	-	-
MATURAÇÃO	-	-	-
TOTAL	-	-	-

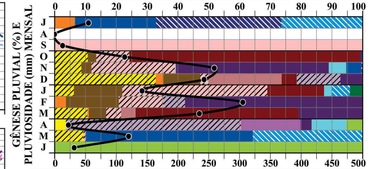
Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

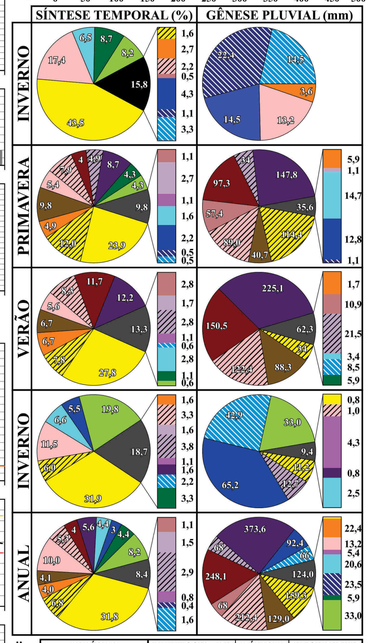
APÊNDICE Q - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PATOS DE MINAS/MG (E7) - ANO 2014/2015



RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL







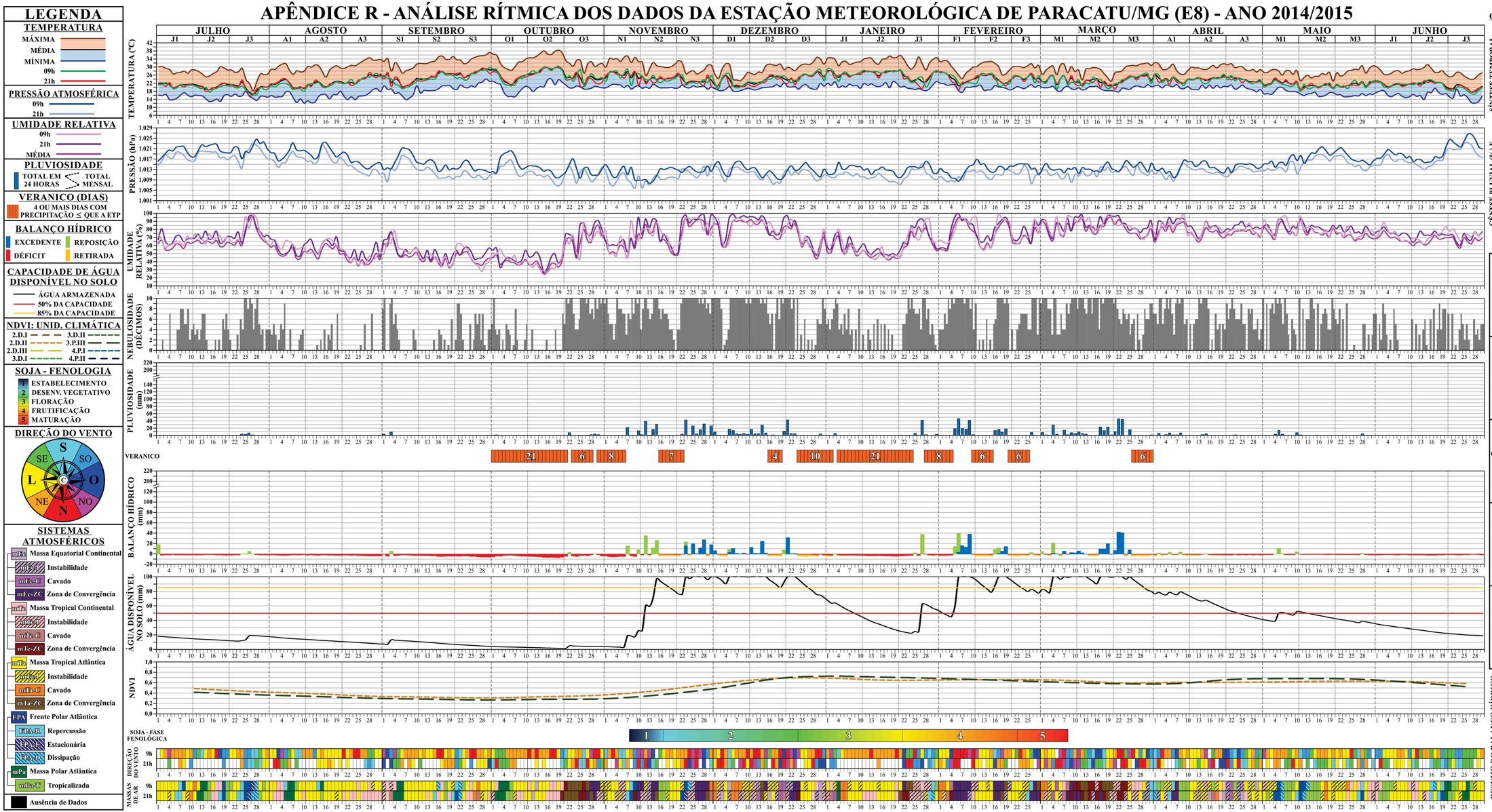
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO: SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	68,2	121,5	0,0
PRIMAVERA	615,9	79,2	319,4
VERÃO	682,3	51,0	428,7
OUTONO	174,4	50,0	39,3
ANUAL	1.540,8	301,7	787,3

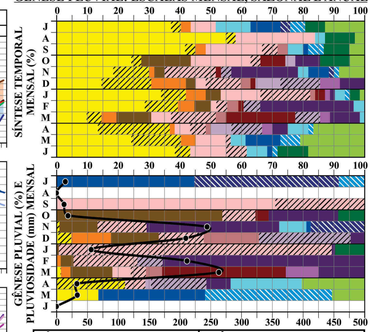
ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	87,3	22,7	0,0
DES. VEGETATIVO	307,7	7,2	171,7
FLORAÇÃO	215,9	9,8	147,6
FRUTIFICAÇÃO	252,0	40,6	129,6
MATURAÇÃO	182,6	1,9	4146,4
TOTAL	1.045,5	82,2	595,4

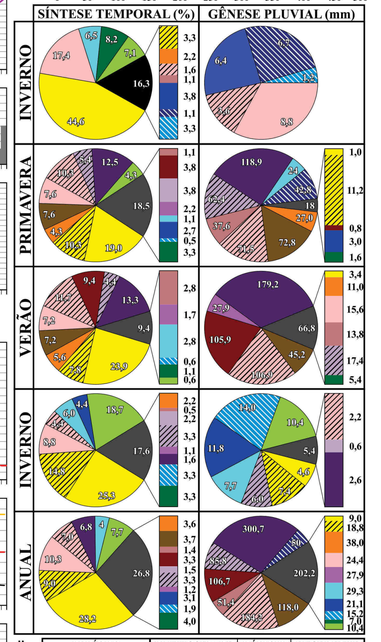
Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE R - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PARACATU/MG (E8) - ANO 2014/2015



RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





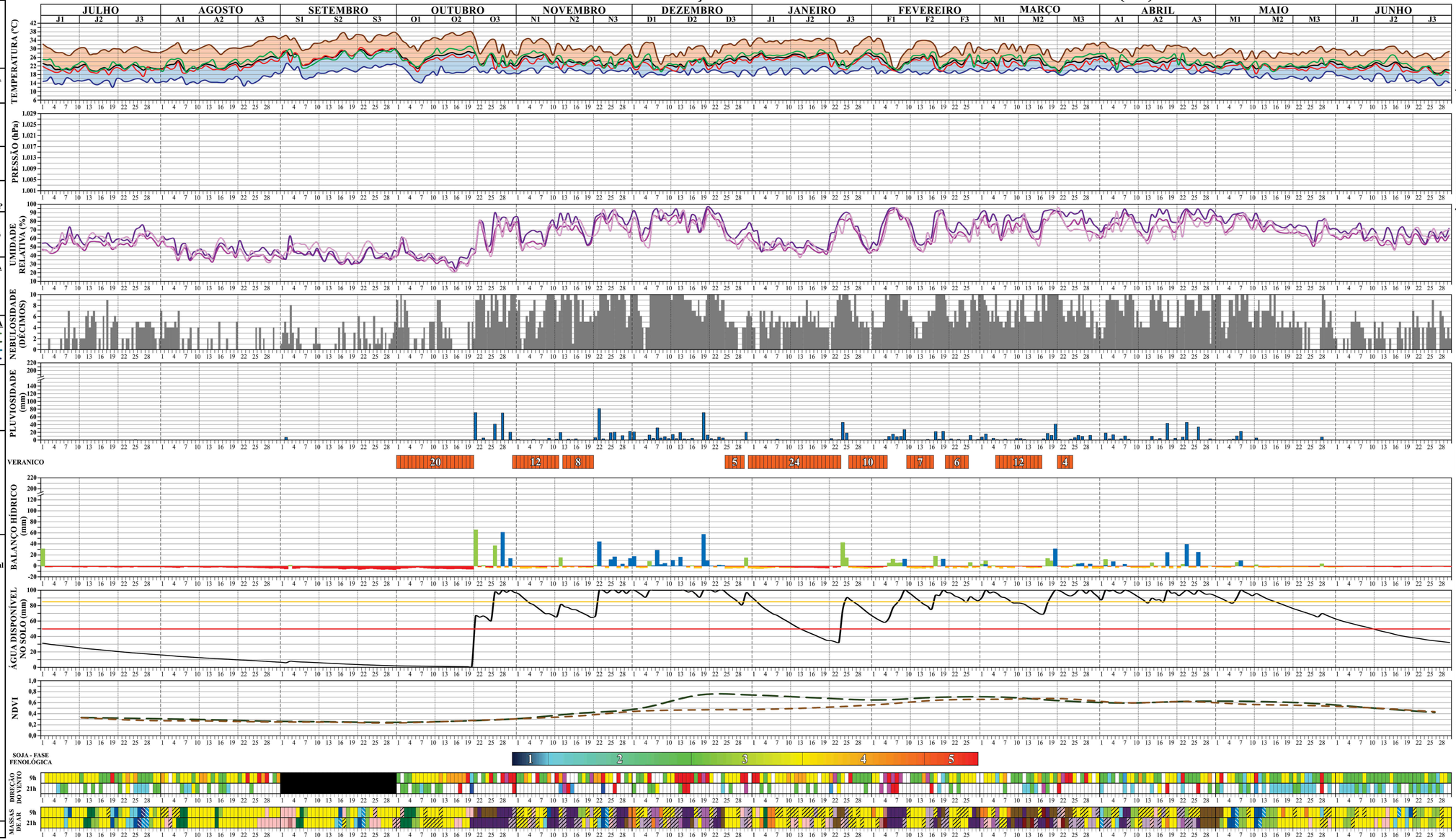
RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	26,7	227,3	0,0
PRIMAVERA	472,6	171,2	199,6
VERÃO	532,9	95,6	259,1
OUTONO	66,3	109,9	0,0
ANUAL	1.098,5	604,0	458,7

ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	8,4	47,1	0,0
DES. VEGETATIVO	288,6	55,5	102,1
FLORAÇÃO	179,3	10,1	97,5
FRUTIFICAÇÃO	137,3	81,4	20,3
MATURAÇÃO	117,0	3,2	74,4
TOTAL	730,6	197,3	294,3

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE S - ANÁLISE RÍTMICA DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE FORMOSO/MG (E9) - ANO 2014/2015



LEGENDA

TEMPERATURA
MÁXIMA
MÉDIA
MÍNIMA
09h
21h

PRESSÃO ATMOSFÉRICA
09h
21h

UMIDADE RELATIVA
09h
21h
MÉDIA

PLUVIOSIDADE
TOTAL EM 24 HORAS
TOTAL MENSAL

VERANICO (DIAS)
4 OU MAIS DIAS COM PRECIPITAÇÃO ≤ QUE A ETP

BALANÇO HÍDRICO
EXCEDENTE
REPOSIÇÃO
DÉFICIT
RETIRADA

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
ÁGUA ARMAZENADA
50% DA CAPACIDADE
85% DA CAPACIDADE

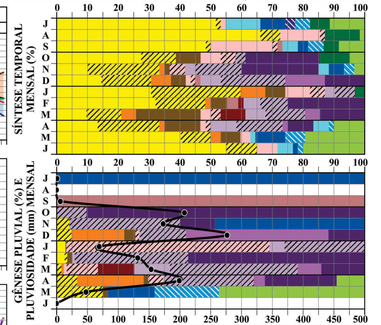
NDVI: UNID. CLIMÁTICA
2.D.I
2.D.II
2.D.III
3.D.I
3.D.II
3.P.III
4.P.I
4.P.II

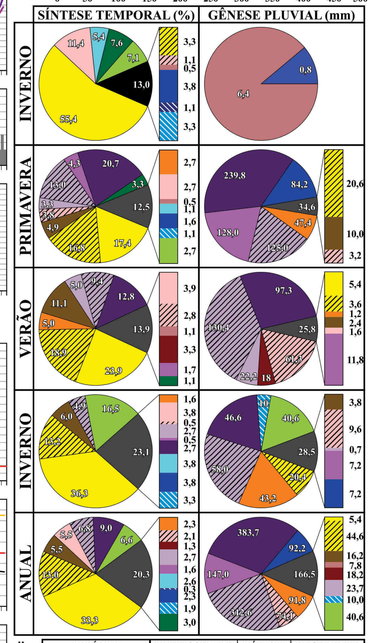
SOJA - FENOLOGIA
1 ESTABELECIMENTO
2 DESENV. VEGETATIVO
3 FLORAÇÃO
4 FRUTIFICAÇÃO
5 MATURAÇÃO

DIREÇÃO DO VENTO
S SO O NO N NE L SE C

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS
- mEs Massa Equatorial Continental
- mEs-I Instabilidade
- mEs-C Cavado
- mEs-ZC Zona de Convergência
- mTs Massa Tropical Continental
- mTs-I Instabilidade
- mTs-C Cavado
- mTs-ZC Zona de Convergência
- mTa Massa Tropical Atlântica
- mTa-I Instabilidade
- mTa-C Cavado
- mTa-ZC Zona de Convergência
- FPA Frente Polar Atlântica
- FPA-R Repercussão
- FPA-E Estacionária
- FPA-D Dissipação
- mPa Massa Polar Atlântica
- mPa-T Tropicalizada
- Ausência de Dados

RESUMO DA PARTICIPAÇÃO DAS MASSAS DE AR E GÊNESE PLUVIAL: ESCALAS MENSAL, SAZONAL E ANUAL





RESUMO DO BALANÇO HÍDRICO: SAZONAL E FENOLÓGICO (mm)

PERÍODO	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
INVERNO	7,2	265,9	0,0
PRIMAVERA	658,2	112,0	323,9
VERÃO	355,2	68,9	73,0
OUTONO	247,3	52,4	113,5
ANUAL	1.267,9	499,3	510,4

ESTÁGIO DA SOJA	PLUVIOSIDADE	DÉFICIT	EXCEDENTE
ESTABELECIMENTO	76,6	31,6	0,0
DES. VEGETATIVO	348,4	14,9	205,7
FLORAÇÃO	233,2	4,9	269,0
FRUTIFICAÇÃO	102,4	54,4	189,3
MATURAÇÃO	86,0	3,9	663,9
TOTAL	846,6	109,7	0,0

Fonte: INMET, 2018 / **Elaboração e Organização:** Aion Angelu F. Silva

APÊNDICE T - Análise fatorial: coeficientes dos escores dos dados médios.

Fator	Pluv.	Dias Secos	Temperatura				ET_P	ET_R	DER	DEF	EXC	EXC-DEF	Ia	Ih	Im	Meses com	
			Máx.	Méd.	Mín.	Amp.										DEF	EXC
1	0,081	-0,086	-0,313	0,172	0,534	0,000	0,386	0,066	0,135	0,017	0,028	-0,007	0,154	0,001	-0,017	-0,1	0,056
2	0,266	-0,309	0,029	0,051	0,078	0,000	0,058	0,21	-0,049	-0,003	0,319	0,001	-0,052	0,205	0,177	0,206	-0,195
3	-0,026	-0,087	-1,771	-0,005	1,297	0,000	0,194	-0,356	0,186	0,015	0,042	-0,006	0,203	0,084	0,04	-0,071	-0,035
4	0,181	-0,38	-0,029	-0,038	-0,041	0,000	0,055	-0,072	-0,018	0,002	0,282	-0,001	-0,016	0,257	0,217	0,927	-0,889

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE U - Escores de cada estação obtidos pela Análise Fatorial: dados médios

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
1	1,05729	-1,07664	0,7088	-1,63409
2	1,31198	-1,10713	0,16554	0,132
3	1,36669	-0,86316	0,10466	-0,17832
4	1,64145	-0,33002	-0,07164	-0,98254
5	0,56821	-0,0367	1,86822	-1,40683
6	2,59779	0,23388	-0,68334	-0,8768
7	2,51795	1,78854	-0,6523	0,50713
8	3,16206	1,47948	-1,00946	-0,16367
9	-0,26004	-2,1533	1,32022	1,81798
10	0,54058	-1,09229	0,32921	2,85575
11	0,24351	-1,40606	0,78415	2,16851
12	0,95025	-1,01335	0,04402	0,36458
13	0,72042	-1,0927	0,07307	0,32555
14	0,3749	-1,39036	0,51811	-1,30119
15	0,90693	-1,01964	0,08781	1,51616
16	1,00465	-1,28405	0,01717	0,08646
17	0,91174	-1,05751	0,25924	0,40903
18	0,41546	-1,1306	0,72592	-1,46938
19	0,47452	0,05449	0,58502	-0,50885
20	0,19898	0,44531	2,83035	-1,19469
21	0,28224	0,53037	1,78931	-0,27547
22	1,76317	1,37038	-0,15549	0,12975
23	1,7507	0,82238	-0,44909	0,00037
24	2,59873	1,24654	-0,96978	-0,04783
25	-0,04979	-2,00654	0,49814	0,71652
26	0,26937	-1,33615	0,04051	2,16218
27	-0,06689	-1,51267	0,33942	2,26655
28	0,46428	-0,74874	-0,8114	0,1091
29	0,46779	-1,41155	0,07721	1,33898
30	-0,21895	-1,72731	0,66594	-1,71306

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
31	-0,22561	-1,70293	1,05114	-1,10782
32	0,4309	-0,96884	-0,4183	-0,04097
33	0,4776	-0,64667	-0,05289	-1,20673
34	-0,08356	-0,32547	1,15184	-0,48969
35	0,77964	-0,45725	-0,46393	-0,65258
36	0,11849	0,66219	0,79001	-1,46628
37	0,8586	-0,01775	-0,55123	-0,42285
38	-0,32174	0,17024	1,52525	0,10695
39	-0,09548	0,91005	1,84953	-0,81542
40	0,95139	0,58303	-0,05989	-0,34904
41	-0,01434	0,59588	1,53492	-1,24773
42	1,11226	1,33514	-0,41804	0,13789
43	1,15368	1,76925	-0,99117	0,34926
44	1,02787	1,85058	0,39614	0,84825
45	-0,3598	-1,00083	0,4412	0,03605
46	-0,74658	-1,46307	0,96826	-1,20684
47	0,28486	-0,74559	-0,73867	0,24578
48	0,53703	-0,70201	-0,91058	0,09291
49	0,14535	-0,74636	-0,886	0,24832
50	0,13238	-0,85911	-0,64771	-0,83035
51	0,47512	-0,61665	-0,64566	-1,22041
52	0,3335	-0,24463	-0,77701	-0,87699
53	0,51261	0,2535	-0,83602	-0,54568
54	-0,60232	1,10274	2,00745	-0,36066
55	-0,11857	0,61662	1,64882	-1,1135
56	-0,03147	1,14769	1,59754	-0,70848
57	-1,07022	-1,25658	-0,15513	0,96392
58	-0,78582	-0,94768	-0,55861	-0,04742
59	-0,18369	-1,23379	-0,97147	-1,10397
60	-0,38684	-0,50134	-1,18427	-0,94397

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
61	0,11692	-0,75002	-0,77376	-1,21551
62	0,22825	-0,35143	-0,92205	-0,49991
63	0,37538	-0,04501	-1,04629	-0,70452
64	0,17133	0,2159	-0,80859	-0,30251
65	0,22924	0,40302	-0,83184	0,14865
66	0,16618	0,47239	-1,00134	-0,16349
67	-0,89812	0,97341	0,98753	1,11008
68	-0,11847	1,5143	-0,11076	0,95218
69	0,14593	1,7217	-0,57348	-0,18786
70	-1,10737	-0,63491	-0,96215	-0,34267
71	-1,93757	-0,38046	1,63544	-0,2897
72	-1,20327	-0,61887	0,08422	-0,45431
73	-1,4539	0,31288	0,10025	-1,26797
74	-1,14249	-0,06727	-0,88647	-0,92725
75	-0,69767	-0,52562	-1,34345	0,68883
76	-1,03213	-0,35635	-1,07995	-0,11151
77	-0,99889	-0,56593	-1,3565	0,7057
78	-0,83942	-1,19089	-0,61257	-1,22813
79	-0,60042	-0,9281	-0,97787	-1,18692
80	-0,91428	0,07726	-0,39522	-0,02131
81	-1,33239	0,83714	0,61264	-0,6572
82	-0,963	0,50698	0,02512	0,50631
83	-1,35702	0,95638	0,48006	-0,56237
84	-0,77786	-0,11926	-0,16597	-0,19386
85	-0,23221	-0,1974	-1,37489	-0,75278
86	-1,3361	1,44998	-0,18671	1,31433
87	-1,13521	1,43142	0,14499	1,36619
88	-1,00905	0,81577	-1,03496	0,40207
89	-0,37726	0,34724	-0,60093	-0,08507
90	-0,75453	0,71833	-0,00413	0,5496
91	-1,36183	0,69787	0,55452	0,25289

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
92	-0,68558	0,9838	-0,13244	0,78416
93	-0,72117	0,58555	-0,4847	0,31808
94	-0,80779	1,36686	-0,46719	1,02409
95	-1,2966	-0,50546	-0,70714	-0,46897
96	-1,13404	-0,61089	-0,92628	-0,18852
97	-1,15139	0,02717	-0,54219	0,04515
98	-0,87984	0,21652	-1,87755	-0,3187
99	-1,66633	1,06715	1,12471	-0,25919
100	-1,47902	0,55759	0,415	-1,0047
101	1,56763	-0,50659	0,90032	3,19925
102	1,46635	0,73806	2,18631	-1,03752
103	0,18667	0,26499	0,22901	-0,00412
104	0,16524	2,18349	-0,91688	-0,06061
105	-0,37866	1,11811	2,19409	-0,3377
106	0,03064	0,51438	1,4202	-0,69946
107	0,92498	-0,11241	-0,45117	-0,3328
108	0,24667	-1,06005	-0,64861	-0,86891
109	0,699	-1,21914	0,66239	1,34551
110	1,06558	-0,63973	0,61688	2,66805
111	1,0168	1,90197	-0,66565	-0,95306
112	0,59112	0,62564	-1,06338	-0,26951
113	-0,22347	-0,5546	0,36934	0,47756
114	-0,08057	-0,74724	0,32098	2,26696
115	0,29342	1,08733	0,45473	0,61569
116	-0,33425	1,57155	-0,45438	0,99663
117	0,13182	1,4096	1,00402	1,48555
118	-1,04151	1,31847	-0,06734	1,40027
119	-2,22532	0,64714	-3,69125	0,05152
120	-0,88991	-0,31466	-0,47846	-0,21033
121	-1,89859	0,52569	2,39303	0,9184
122	-1,61588	1,10391	-1,01634	1,14948

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE V - Análise fatorial: coeficientes dos escores do ano agrícola 2004/2005.

Fator	Pluv.	Dias Secos	Temperatura				ET_P	ET_R	DER	DEF	EXC	EXC-DEF	Ia	Ih	Im	Meses com	
			Máx.	Méd.	Mín.	Amp.										DEF	EXC
1	-0,232	0,122	-0,249	-0,049	0,087	0,000	-0,054	0,024	-0,077	-0,001	-0,347	0,000	-0,078	-0,188	-0,155	0,075	-0,179
2	-0,088	0,12	0,127	-0,135	-0,324	0,000	-0,368	0,22	-0,258	-0,024	-0,126	0,009	-0,279	-0,076	-0,02	-0,035	-0,037
3	-0,037	0,163	0,071	-0,119	-0,256	0,000	-0,123	-0,616	0,274	0,005	0,174	-0,002	0,278	0,134	0,075	0,155	0,056
4	0,097	0,381	1,955	0,000	-1,402	0,000	-0,146	-0,027	-0,005	-0,009	0,186	0,003	-0,013	0,073	0,069	0,113	0,167

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE W - Escores de cada estação obtidos pela Análise Fatorial: ano 2004/2005.

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
1	0,66412	0,14073	-1,75514	-0,64584
2	1,44737	-0,26886	-1,40901	0,16242
3	0,55929	-0,77935	-1,09928	-0,04825
4	0,57229	-0,80785	-1,35257	-0,03595
5	0,46086	-0,22130	0,27978	-1,74099
6	0,23472	-1,66607	-2,48519	-0,34796
7	-0,72908	-1,90109	-2,33196	-0,38042
8	-1,39377	-2,29066	-3,16241	0,29368
9	1,61297	0,84486	-0,35442	-0,05721
10	1,84331	-0,04760	-0,63172	0,37202
11	1,73749	0,12206	-0,21063	-0,18008
12	1,23923	-0,93621	0,13502	0,03868
13	1,66097	-0,68060	0,06679	-0,46699
14	1,53738	-0,50171	1,03403	-0,33899
15	0,86547	-0,48060	-0,86564	0,40825
16	1,24718	-0,78479	-0,10159	0,38178
17	1,21669	-0,48670	-0,54676	-0,00538
18	1,00823	-0,18381	0,29513	-0,45854
19	0,24427	-0,62013	0,39332	-0,87847
20	-1,13118	0,13974	-0,42983	-2,86222
21	-0,45211	-0,45338	0,16682	-2,24834
22	-0,45187	-0,90265	-2,32193	-0,60697
23	-0,12002	-1,64752	-0,74820	0,01952
24	0,16817	-1,98439	-1,98232	0,09811
25	2,21318	0,32939	0,32708	0,19753
26	1,53025	0,03344	-0,36373	0,71822
27	2,19551	-0,88594	2,17406	0,30502
28	0,54090	-0,75238	0,37268	0,88129
29	1,39505	-0,15133	-0,21916	0,80552
30	0,76145	0,30547	0,52523	-0,13782
31	1,25969	0,74993	0,13175	-0,21633
32	0,87392	0,51200	-1,66307	0,44405
33	-0,35113	-0,66038	0,33640	0,45461
34	0,44954	-0,30934	0,90681	-1,38223
35	-0,23303	-1,31280	0,79798	0,91381
36	-1,06001	0,00106	-0,06433	-0,73878

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
37	0,00045	-1,60832	1,05684	0,30863
38	-0,15190	1,05234	-1,10946	-1,65020
39	-0,91610	0,28321	-0,06198	-1,86323
40	0,21205	-0,61490	-0,96562	-0,79443
41	-0,55204	0,07885	0,12008	-1,71801
42	-0,76973	-1,25851	-0,43082	-0,15516
43	-0,71029	-0,17473	-2,77068	-0,11298
44	0,31071	-0,88746	-0,64692	-1,45997
45	0,43870	-0,09217	1,09028	-0,00079
46	0,32680	0,62448	0,84815	-0,28754
47	-0,10948	-0,87128	0,88754	1,36333
48	0,58659	-1,21829	1,02784	0,98773
49	-0,20463	-0,92425	0,77550	0,96600
50	0,52211	-0,32220	0,44021	0,80699
51	0,18816	-0,53973	0,05592	0,68436
52	-1,18341	-0,91349	0,32887	0,93949
53	-1,23496	-0,11730	-1,36435	0,92574
54	-2,18579	-0,11021	1,40124	-1,19283
55	-1,06448	0,15840	0,05670	-1,56371
56	-2,67229	-0,26745	0,39738	-0,60755
57	0,86478	1,20031	-0,03162	0,30290
58	0,28121	0,58919	0,25222	0,37829
59	0,71579	-0,13972	0,85456	1,29124
60	0,39996	-0,00746	0,42858	0,51176
61	-0,21624	-0,51420	0,35077	0,75750
62	-0,33893	-1,37778	1,62990	0,99186
63	-0,55974	-1,14122	0,96242	1,19865
64	-1,40377	-1,34637	1,57511	1,41234
65	-1,28595	-0,36773	-0,12073	1,58381
66	-1,31997	-1,17944	1,06134	1,18729
67	-1,45252	-0,53265	2,26246	-0,49795
68	-1,19498	-0,09300	-0,38888	-0,36925
69	-1,57980	-0,29111	-0,55357	-0,02806
70	-0,42150	1,45537	-0,58213	1,25672
71	0,04653	1,91240	0,95550	-1,36810
72	0,28589	0,73340	1,23522	-0,00472

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
73	-0,94024	2,17291	-1,07100	-0,58348
74	-0,31144	1,80025	-1,17220	0,19579
75	0,01170	0,57093	-0,25810	1,13235
76	-0,43794	0,98163	-0,09423	1,03770
77	-0,09100	0,77473	0,06162	1,38187
78	0,71158	0,70557	0,49401	0,56470
79	1,03348	0,59742	0,41320	0,84918
80	0,49725	0,86638	0,29634	0,12989
81	0,25005	1,32577	0,78512	-0,84389
82	0,55147	1,22542	-0,04909	-0,18722
83	0,49741	1,90540	-0,08630	-0,85572
84	0,47308	1,23638	-0,30985	0,29030
85	0,28392	0,40880	-0,39898	1,02631
86	-0,07389	1,30536	0,04409	-0,49077
87	-0,58340	0,43955	1,15681	-0,40920
88	0,00721	1,04459	-0,45424	-0,00487
89	-1,47702	-0,88329	1,68863	1,12294
90	-0,89129	0,48467	0,35247	0,28774
91	-0,47285	0,81306	1,03624	-0,83744
92	-1,08011	0,40596	0,17396	0,30227
93	-0,12248	0,42481	0,39477	0,21149
94	-0,64091	0,08658	0,95785	0,10991
95	0,14129	1,13191	0,53370	0,76914
96	0,56490	1,48363	-0,56880	0,56378
97	-0,59202	1,31366	-0,26669	0,79190

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
98	0,18149	2,00219	-2,08715	1,25699
99	-0,67914	1,81530	0,11032	-1,46953
100	-0,77991	1,58750	0,01899	-0,73989
101	0,88623	-1,38690	-0,13192	-0,02241
102	0,54871	-1,42051	0,24552	-3,13150
103	0,71109	0,62313	-1,40057	-1,00328
104	-2,73525	0,09252	-1,15173	1,37949
105	-0,59835	0,27034	0,88488	-2,02017
106	-0,07907	-0,23169	0,90836	-1,38852
107	-0,21474	-1,47536	0,53248	0,37130
108	1,30617	0,48673	-0,82266	0,74045
109	1,82726	-0,92815	0,64330	-0,23968
110	1,13957	-1,48112	0,64948	0,06520
111	-1,25891	-0,55435	-1,64846	-0,44153
112	-0,84167	-0,62074	-0,46243	0,92454
113	0,31618	-0,06831	1,10964	0,04062
114	2,15927	0,40380	0,21160	-0,40418
115	-1,63535	-1,12096	1,04594	-0,09205
116	-0,86567	0,11799	0,06141	-0,17977
117	-0,24934	-0,34199	0,41869	-1,22042
118	-0,12277	0,24567	1,43578	0,00696
119	-1,10235	2,44943	-0,56750	3,72018
120	-0,24627	0,77352	0,20088	0,54809
121	-1,00602	1,83597	0,99972	-1,64074
122	-1,23842	1,66570	0,26429	1,48824

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE X - Análise fatorial: coeficientes dos escores do ano agrícola 2014/2015.

Fator	Pluv.	Dias Secos	Temperatura				ET_P	ET_R	DER	DEF	EXC	EXC-DEF	Ia	Ih	Im	Meses com	
			Máx.	Méd.	Mín.	Amp.										DEF	EXC
1	-0,223	0,084	-0,472	-0,044	0,259	0,000	-0,075	0,21	-0,097	0,000	-0,484	0,000	-0,191	-0,412	-0,202	-0,021	-0,139
2	-0,097	0,095	0,165	-0,214	-0,503	0,000	-0,382	-0,043	-0,054	-0,005	-0,038	0,002	-0,12	-0,019	0,01	0,009	-0,021
3	-0,013	-0,076	-0,125	0,056	0,192	0,000	-0,081	0,661	-0,213	-0,003	-0,336	0,001	-0,423	-0,368	-0,132	-0,203	0,022
4	-0,093	-0,152	-2,534	0,02	1,907	0,000	0,155	0,015	0,007	0,003	-0,221	-0,002	0,021	-0,148	-0,089	-0,056	-0,076

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE Y - Escores de cada estação obtidos pela Análise Fatorial: ano 2014/2015.

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
1	1,18198	-0,79433	1,17123	0,82466
2	0,81076	-1,35869	-0,15825	0,16503

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
3	0,90064	-1,39890	0,45258	0,52420
4	0,47772	-1,51836	1,12813	0,38164

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
5	0,29431	-0,14050	0,40092	1,98984
6	0,49051	-2,48584	1,69489	0,13393
7	-1,60670	-2,55061	1,38141	-0,45624
8	-1,56320	-3,26280	2,05235	-0,67879
9	0,90311	0,02480	-2,04538	0,54773
10	0,47828	-0,87191	-1,79979	-0,17737
11	0,85139	-0,47344	-1,39026	0,40968
12	0,81315	-1,00440	-0,48319	0,04766
13	0,96385	-0,78133	0,07725	0,16994
14	0,83166	-0,31176	-0,35157	0,61890
15	0,28242	-1,14320	-0,77340	-0,31752
16	0,64651	-1,08753	-1,04018	-0,04945
17	0,95395	-0,93712	0,00991	0,22025
18	0,88476	-0,16801	-0,90066	0,78974
19	0,52501	-0,25498	1,84701	0,79488
20	0,10299	0,29920	0,43970	3,16003
21	0,38762	0,09816	0,82074	2,13912
22	-0,81484	-1,52583	1,02694	-0,31432
23	-0,81494	-1,73955	1,01056	-0,36653
24	-0,13888	-2,38596	1,52935	-0,43045
25	0,53509	-0,10729	-2,83997	-0,33145
26	0,41142	-0,63087	-2,23089	-0,39247
27	0,41753	-0,25320	-2,81029	-0,36142
28	0,17123	-0,64427	-2,03807	-0,65622
29	0,57106	-0,69727	-1,77853	-0,29301
30	0,96764	0,34180	-1,29780	0,60338
31	1,00567	0,33381	-0,35063	0,78077
32	0,71084	-0,56652	-0,63549	-0,14286
33	0,91242	-0,34812	0,46108	0,28054
34	1,08605	0,31615	0,39635	1,54080
35	0,16855	-0,73758	-1,06159	-0,45342
36	-0,53674	0,15415	0,08781	0,89341
37	0,87493	-0,75370	0,77826	-0,04480
38	-1,34546	0,35472	-0,59601	1,26501
39	-2,01446	0,27092	-0,29089	1,40915
40	-1,00003	-0,91307	0,24378	0,07256
41	0,11407	0,39852	1,13488	1,99482
42	-1,59589	-1,06553	0,03988	-0,45121

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
43	0,08266	-0,98719	2,11406	-0,10661
44	-1,11297	-0,94017	0,77770	0,70870
45	0,80002	0,33162	-0,94023	0,50520
46	1,59874	1,01096	-0,30196	0,94538
47	0,21962	-0,44028	-0,85306	-0,86400
48	0,63036	-0,64625	-0,29377	-0,70399
49	0,41293	-0,32829	0,18664	-0,95073
50	0,35049	-0,18794	-0,55952	-0,68976
51	0,18259	-0,44909	-0,12502	-0,70379
52	-0,57188	-0,45940	-0,15864	-0,88223
53	0,01805	-0,51736	0,98514	-0,58453
54	-2,49031	0,75341	-1,93074	1,22546
55	-1,71120	0,28830	-0,11627	1,39215
56	-2,01966	0,31903	-1,75030	1,01404
57	1,15434	0,86685	0,24905	-0,22800
58	1,29669	0,69086	-0,28611	-0,21618
59	0,70761	0,12301	-1,49803	-0,91117
60	0,81568	0,38450	0,09941	-0,98620
61	0,65982	-0,09443	0,41683	-0,74981
62	0,09420	-0,32995	0,25403	-0,87472
63	0,06866	-0,44784	0,35575	-0,88660
64	-0,71016	-0,28158	-0,29463	-1,05283
65	-0,51335	-0,31495	-0,23326	-0,93301
66	-0,27396	-0,19237	-0,26349	-0,98398
67	-0,62182	0,89848	-0,52346	0,85244
68	-1,14655	0,04359	0,12923	0,09006
69	-1,35064	-0,12290	0,44621	-0,27667
70	1,55585	1,07217	0,61783	-0,48538
71	1,09868	2,18594	1,05375	1,80075
72	1,44403	1,30551	0,44567	0,33703
73	0,24641	1,63236	0,97976	0,21063
74	0,87470	1,14040	1,71397	-0,43686
75	0,98908	0,45973	0,11959	-1,01943
76	1,19852	0,97213	1,08094	-0,72799
77	1,13768	0,75104	0,09157	-0,91754
78	1,18268	0,84476	-0,68842	-0,39731
79	0,99875	0,65402	0,05984	-0,97979
80	0,52941	0,84910	0,48235	-0,03964

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
81	-0,33823	1,52629	0,50151	0,54794
82	-0,95973	0,82032	0,37881	-0,36220
83	-0,54257	1,54365	0,59667	0,33867
84	-0,65524	0,65046	-0,01958	-0,50990
85	0,54241	0,13529	0,38352	-0,99084
86	-2,43930	1,03176	0,15460	-0,66793
87	-2,38165	0,87769	-0,64479	-0,47153
88	-0,42207	0,82253	1,05868	-0,71132
89	-1,05147	0,28618	-0,42866	-1,16298
90	-1,12479	0,58994	-0,11054	-0,34203
91	-1,32155	1,35138	0,02055	0,13219
92	-0,90477	0,58821	-0,07714	-0,35044
93	-0,72355	0,57315	0,56026	-0,48977
94	-1,26053	0,64333	0,89383	-0,61798
95	1,01488	1,29097	1,56917	-0,73932
96	1,05913	1,04676	-0,22955	-0,73229
97	0,71175	1,15644	0,77351	-0,48206
98	1,07032	0,79568	2,10587	-1,23185
99	-0,71852	1,81343	-0,06705	1,22804
100	-1,78424	1,45451	-0,53281	0,04740
101	0,76010	-2,01784	-0,45481	1,29698

Est.	1º Escore	2º Escore	3º Escore	4º Escore
102	0,50155	-0,88920	1,01629	2,82557
103	-0,27052	-0,07227	0,98915	0,37260
104	-1,90376	-0,06235	-0,21153	-1,42709
105	-2,13931	0,60802	-0,69072	1,39101
106	-0,41912	0,08256	-0,16197	1,81630
107	0,19895	-0,75478	-1,04662	-0,37771
108	-0,11179	-0,21026	-0,91039	-1,96234
109	0,34423	-0,55399	-2,33880	-0,91304
110	0,65685	-1,38021	-0,72164	0,58685
111	-1,26495	-0,93788	0,52847	-0,23948
112	-0,32821	-0,77963	0,64110	-0,35134
113	1,13334	0,02467	-0,76462	0,55029
114	0,79280	-0,26891	-0,74564	0,55471
115	-0,47288	-0,08588	-0,53418	0,81532
116	-1,56939	0,14121	-0,25990	-0,36831
117	-0,41898	-0,16947	0,78236	1,44870
118	-1,29233	0,97608	0,53680	-0,44830
119	-0,26795	1,91378	0,65929	-4,18758
120	1,15897	0,99819	0,37696	-0,42022
121	-0,13231	2,14883	-0,05974	1,84839
122	0,15271	1,77380	1,32873	-1,57629

Fonte: elaborado pelo autor.

ANEXO

ANEXO A - Lista de estações pluviométricas e meteorológicas utilizadas no estudo.

Nº	Órgão	Código	Nome	Latitude	Longitude	Altitude
1	ANA	1344013	Gatos	-13,7106	-44,6325	610
2	ANA	1344015	Colônia do Formoso	-13,5667	-44,3061	447
3	ANA	1344016	Arrojado	-13,4508	-44,5656	479
4	ANA	1346002	Fazenda Ingazeiro	-13,6858	-46,5656	527
5	ANA	1346006	Fazenda Planalto	-13,7519	-46,1400	947
6	ANA	1347001	Ponte Paranã	-13,4253	-47,1392	363
7	ANA	1349000	Estrela do Norte	-13,8725	-49,0714	467
8	ANA	1349002	Porangatu (Descoberto)	-13,4097	-49,1564	363
9	ANA	1442031	Urandi	-14,7603	-42,6561	646
10	ANA	1443001	Manga	-14,7567	-43,9322	452
11	ANA	1443026	Palmas de Monte Alto	-14,2594	-43,1656	569
12	ANA	1444000	São Gonçalo	-14,3136	-44,4603	475
13	ANA	1444001	Capitânea	-14,4311	-44,4817	523
14	ANA	1444003	Miravania	-14,7475	-44,4111	647
15	ANA	1444004	Juvenília	-14,2658	-44,1572	440
16	ANA	1444005	Lagoa das Pedras	-14,2806	-44,4094	450
17	ANA	1444017	Fazenda Porto Alegre	-14,2683	-44,5217	500
18	ANA	1445000	Cajueiro	-14,8361	-45,1733	700
19	ANA	1446004	Sítio D'abadia	-14,8039	-46,2533	767
20	ANA	1447000	Alto Paraíso de Goiás	-14,1347	-47,5117	1.197
21	ANA	1447002	São João D'aliança	-14,7072	-47,5236	1.009
22	ANA	1448001	Niquelândia	-14,4750	-48,4583	568
23	ANA	1448009	UHE Serra da Mesa	-14,5683	-48,1589	507
24	ANA	1449002	Santa Terezinha De Goiás	-14,4336	-49,7167	400
25	ANA	1542016	Serra Branca	-15,6367	-42,9436	522
26	ANA	1543002	Colônia do Jaíba	-15,3411	-43,6753	450
27	ANA	1543013	Janaúba	-15,7756	-43,2797	498
28	ANA	1544012	São Francisco	-15,9494	-44,8681	448
29	ANA	1544018	Fazenda Canadá	-15,0225	-44,0536	464
30	ANA	1544019	São João da Ponte	-15,9303	-44,0042	716
31	ANA	1544030	Varzelândia	-15,7042	-44,0286	747
32	ANA	1544032	Usina do Pandeiros - Montante	-15,4831	-44,7672	506
33	ANA	1545002	Serra das Araras	-15,5022	-45,3900	605
34	ANA	1545004	Gaúchos	-15,2950	-45,6267	875
35	ANA	1546000	Arinos - Montante	-15,9178	-46,1192	492
36	ANA	1546005	Cabeceiras	-15,8008	-46,9247	900
37	ANA	1546010	Fazenda Carvalho	-15,5242	-46,2844	522
38	ANA	1547013	Taquara	-15,6322	-47,5203	1.053
39	ANA	1547018	Jockey Club	-15,8058	-47,9981	1.103
40	ANA	1548001	Mimoso	-15,0631	-48,1664	687
41	ANA	1548008	Descoberto	-15,7794	-48,2303	1.061
42	ANA	1549001	Goianésia	-15,3292	-49,1217	662
43	ANA	1549003	Jaraguá	-15,7581	-49,3369	607
44	ANA	1549004	Nova América	-15,0206	-49,8917	800
45	ANA	1644027	Brasília de Minas - Jusante	-16,2064	-44,4253	720
46	ANA	1644028	São João da Vereda	-16,7025	-44,1172	846

Nº	Órgão	Código	Nome	Latitude	Longitude	Altitude
47	ANA	1645000	São Romão	-16,3717	-45,0828	472
48	ANA	1645005	Vila Urucuia	-16,1336	-45,7422	447
49	ANA	1645009	Cachoeira da Manteiga	-16,6569	-45,0808	476
50	ANA	1645013	Fazenda Água Branca	-16,8072	-45,0303	513
51	ANA	1645019	Fazenda Conceição	-16,4286	-45,7422	508
52	ANA	1646000	Porto dos Poções	-16,8297	-46,3222	540
53	ANA	1646003	Santo Antônio do Boqueirão	-16,5297	-46,7211	550
54	ANA	1647002	UHE Batalha Cristalina	-16,7881	-47,6033	1.173
55	ANA	1648001	Ponte Anápolis - Brasília	-16,1431	-48,6000	1.087
56	ANA	1649009	Ouro Verde de Goiás	-16,2186	-49,1978	1.078
57	ANA	1742022	Ponte Alta	-17,2825	-42,8078	676
58	ANA	1743002	Vila Terra Branca - Jusante	-17,3128	-43,2078	630
59	ANA	1744009	Várzea da Palma	-17,5961	-44,7011	488
60	ANA	1744010	Lassance	-17,8900	-44,5767	536
61	ANA	1745001	Cachoeira do Paredão	-17,1111	-45,4378	520
62	ANA	1746001	Porto da Extrema	-17,0308	-46,0136	510
63	ANA	1746002	Santa Rosa	-17,2553	-46,4739	490
64	ANA	1746007	Ponte da BR-040 - Paracatu	-17,4972	-46,5817	549
65	ANA	1746017	Fazenda Poções	-17,0419	-46,8178	565
66	ANA	1746019	Fazenda Córrego do Ouro	-17,6133	-46,8592	546
67	ANA	1747005	Guarda-Mor	-17,7725	-47,0986	1.000
68	ANA	1748000	Cristianópolis	-17,1981	-48,7150	829
69	ANA	1749005	Piracanjuba	-17,2894	-49,0272	776
70	ANA	1843000	Usina Parauna	-18,6356	-43,9658	648
71	ANA	1843002	Gouveia	-18,4656	-43,7431	1.200
72	ANA	1843003	Mendanha - Montante	-18,1133	-43,5203	803
73	ANA	1843011	Serro	-18,5928	-43,4125	940
74	ANA	1843012	Rio Vermelho	-18,2797	-43,0006	720
75	ANA	1844001	Santo Hipólito	-18,3061	-44,2258	510
76	ANA	1844009	Presidente Juscelino - Jusante	-18,6439	-44,0481	633
77	ANA	1844010	Ponte do Licínio - Jusante	-18,6714	-44,1914	560
78	ANA	1844017	Corinto	-18,3722	-44,4436	640
79	ANA	1844018	Ponte do Bicudo	-18,1908	-44,5556	569
80	ANA	1845002	Fazenda São Félix	-18,4644	-45,6467	760
81	ANA	1845004	Lagoa do Gouvéia	-18,8414	-45,8514	1.035
82	ANA	1845013	São Gonçalo do Abaeté	-18,3436	-45,8367	836
83	ANA	1845014	Tiros	-18,9997	-45,9661	1.030
84	ANA	1845021	Canoeiros	-18,0383	-45,5236	760
85	ANA	1845027	Barra Do Rio de Janeiro	-17,9581	-45,1022	510
86	ANA	1846002	Charqueada do Patrocínio	-18,9300	-46,9667	960
87	ANA	1846005	Presidente Olegário	-18,4125	-46,4222	942
88	ANA	1846007	Santana de Patos	-18,8411	-46,5508	770
89	ANA	1846015	Vazante	-18,0050	-46,9111	674
90	ANA	1846016	Ponte Firme	-18,0339	-46,4194	817
91	ANA	1846017	Leal de Patos	-18,6411	-46,3344	1.034
92	ANA	1846023	Lagamar	-18,1828	-46,8042	804
93	ANA	1847003	Abadia dos Dourados	-18,4911	-47,4064	784

Nº	Órgão	Código	Nome	Latitude	Longitude	Altitude
94	ANA	1847008	Coromandel	-18,4711	-47,1883	820
95	ANA	1943042	Fazenda Caraíbas	-19,1197	-43,8375	700
96	ANA	1944020	Pirapama	-19,0131	-44,0367	635
97	ANA	1944063	Silva Campos	-19,0872	-44,9472	736
98	ANA	1945038	Porto das Andorinhas	-19,2786	-45,2858	566
99	ANA	1946008	Serra do Salitre	-19,1128	-46,6883	1.213
100	ANA	1946022	Carmo do Paranaíba	-19,0033	-46,3061	1.067
101	INMET	83288	Bom Jesus da Lapa	-13,2514	-43,4053	440
102	INMET	83332	Posse	-14,1000	-46,3667	826
103	INMET	83334	Formoso** (E9)	-14,9494	-46,2358	848
104	INMET	83376	Pirenópolis* (E1)	-15,8500	-48,9667	740
105	INMET	83377	Brasília* (E2)	-15,7897	-47,9258	1.160
106	INMET	83379	Formosa	-15,5492	-47,3386	935
107	INMET	83384	Arinos* (E4)	-15,9153	-46,1067	519
108	INMET	83386	Januária* (E5)	-15,4500	-44,0000	474
109	INMET	83395	Janaúba	-15,8000	-43,2900	516
110	INMET	83408	Carinhanha* (E6)	-14,2833	-43,7667	450
111	INMET	83423	Goiânia	-16,6667	-49,2500	741
112	INMET	83428	Unaí*/** (E3)	-16,3661	-46,8892	460
113	INMET	83437	Montes Claros	-16,6864	-43,8436	652
114	INMET	83441	Salinas	-16,1548	-42,2852	471
115	INMET	83479	Paracatu** (E8)	-17,2442	-46,8817	712
116	INMET	83522	Ipameri	-17,7167	-48,1667	773
117	INMET	83526	Catalão	-18,1833	-47,9500	840
118	INMET	83531	Patos de Minas** (E7)	-18,5197	-46,4394	940
119	INMET	83533	Bom Despacho	-19,7192	-45,3678	695
120	INMET	83536	Curvelo	-18,7475	-44,4547	672
121	INMET	83538	Diamantina	-18,2389	-43,6169	1.296
122	INMET	83589	Conceição do Mato Dentro	-19,0210	-43,4339	652

* Estações situadas no Transecto A-B (Oeste/Leste).

** Estações situadas no Transecto C-D (Sul/Norte).